

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Humán bioklimatológiai értékelések különböző léptékű megközelítésben

GULYÁS ÁGNES

TÉMAVEZETŐ:

DR. UNGER JÁNOS
tanszékvezető egyetemi docens

KONZULENS:

DR. ANDREAS MATZARAKIS
Meteorologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

SZTE TTIK ÉGHAJLATTANI ÉS TÁJFÖLDRAJZI TANSZÉK

SZEGED

2009

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS	2
2. HUMÁN BIOMETEOROLÓGIA/BIOKLIMATOLÓGIA	4
2.1. A HUMÁN BIOKLIMATOLÓGIA RÖVID TÖRTÉNETE	5
2.2. AZ EMBERI SZERVEZET ÉS AZ ATMOSZFERIKUS KÖRNYEZET KÖLCSONHATÁSA	6
2.2.1. Az emberi szervezet hőszabályozása	7
2.2.2. Az emberi test hőháztartása (energia-egyenleg)	11
2.2.3. Az energia-egyenleget befolyásoló környezeti és testi tényezők	13
2.3. HUMÁN KOMFORT	18
2.3.1. Első megközelítések, empirikus indexek	19
2.3.2. Az emberi energia-egyenlegen alapuló modellek és racionális indexek	21
2.4. A HUMÁN BIOKLIMATOLÓGIA ÉS A VÁROSKLIMATOLÓGIA KAPCSOLATRENDSZERE	26
2.5. TENDENCIÁK A KÜLFÖLDI ÉS A HAZAI HUMÁN BIOKLÍMA KUTATÁSBAN	33
3. SZEGED, MINT A VIZSGÁLT TERÜLET.....	36
3.1. SZEGED LEGFÖBB FÖLDRAJZI, ÉGHAJLATI ÉS VÁROSSZERKEZETI JELLEMZŐI	36
3.2. SZEGED VÁROSKLIMATIKUS JELLEGZETESSÉGEI.....	38
3.3. KORÁBBI SZEGEDI HUMÁN BIOKLÍMA KUTATÁSOK RÖVID BEMUTATÁSA	40
4. AZ ALKALMAZOTT KUTATÁSI MÓDSZEREK	42
4.1. A MIKRO LÉPTÉKŰ VIZSGÁLATOK ADATBÁZISA ÉS MÓDSZEREI	42
4.1.1. Felszíngeometriai adatbázis	42
4.1.2. Mikroklíma adatbázis.....	44
4.1.3. Bioklimatikus indexek kiszámítása.....	46
4.2. A LOKÁLIS LÉPTÉKŰ VIZSGÁLAT ADATBÁZISA ÉS MÓDSZEREI.....	50
4.2.1. Felszíngeometriai és meteorológiai paraméterek.....	50
4.2.2. A lokális léptéken alkalmazott vizsgálati módszerek.....	52
4.3. A MAKRO LÉPTÉKŰ VIZSGÁLAT ADATBÁZISA ÉS MÓDSZEREI.....	53
5. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK.....	55
5.1. A MIKRO LÉPTÉKŰ VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI.....	55
5.1.1. Első esettanulmány	55
5.1.2. Második esettanulmány.....	60
5.1.3. A mikro léptékű vizsgálatok során levonható következtetések	66
5.2. A LOKÁLIS LÉPTÉKŰ VIZSGÁLATOK SORÁN KAPOTT EREDMÉNYEK	69
5.2.1. Az időjárási elemek jellemzése.....	70
5.2.2. A bioklimatikus viszonyok jellemzése.....	73
5.2.3. A bioklimatikus viszonyok kapcsolata a meteorológiai paraméterekkel.....	79
5.3. A MAKRO LÉPTÉKŰ VIZSGÁLATOK SORÁN KAPOTT EREDMÉNYEK	84
6. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA, KITEKINTÉS	89
6.1. A MIKRO LÉPTÉKŰ BIOKLIMATIKUS VISZONYOK MOZAIKOSSÁGA A VÁROSBAN	89
6.2. A MIKRO LÉPTÉKŰ BIOKLIMATIKUS VISZONYOK ÉS A FELSZÍNI GEOMETRIA ÖSSZEFÜGGÉSE	90
6.3. A BIOKLIMATIKUS VISZONYOKRA GYAKOROLT VÁROSI HATÁSOK.....	90
6.4. A BIOKLIMATIKUS VISZONYOK ÉS A METEOROLÓGIAI PARAMÉTEREK KAPCSOLATA	91
6.5. MAGYARORSZÁG BIOKLIMATIKUS VISZONYAINAK BEMUTATÁSA	92
6.6. KITEKINTÉS	93
7. SUMMARY.....	95
7.1. INTRODUCTION AND RESEARCH OBJECTIVES	95
7.2. METHODS, DATA COLLECTION, AND PROCESSING	96
7.3. SUMMARY AND DISCUSSION OF RESULTS	97
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	101
IRODALOMJEGYZÉK	102
MELLÉKLETEK.....	110

1. Bevezetés, célkitűzés

A dolgozat egy Magyarországon még kevésbé ismert tudományterület, a humán bioklimatológia tárgykörét érinti, amely a klimatikus viszonyok emberi szervezetre gyakorolt hatásait vizsgálja. E hatáskomplexből elsősorban azokra a tényezőkre koncentrál, amelyek a szervezet hőháztartását és ezáltal hőérzetét a leginkább befolyásolják. A termikus komfort (azaz a komfortos hőérzet, és a lehető legkisebb klimatikus stressz) az ember megfelelő életminőségének egyik alapfeltétele. Bármilyen hétköznapi vagy szabadidős tevékenység során városban vagy városon kívül nagyban meghatározó. Nem véletlen tehát, hogy az erre irányuló vizsgálatok világszerte jelentősen megszorodtak (pl. Höppe, 2002; Nikolopoulou and Lykoudis, 2006; Mayer et al., 2008; Monteiro and Alucci, 2008; Knez et al., 2009).

Az utóbbi évtizedekben tapasztalható gyors ütemű globális népesség növekedés maga után vonja a városi népesség számának emelkedését és a sűrűn lakott városi területek erőteljes gyarapodását is (UNFPA, 2007). Az egyre növekvő városokban a városklíma jelenségek (pl. városi hősziget) felerősödése egyben emelkedő bioklimatikus stresszt és ezzel szaporodó egészségügyi problémákat is jelenthet az ott lakók számára (Hupfer und Kuttler, 2006). Különösen igaz ez manapság, amikor e folyamat együtt jár a klíma globális szintű megváltozásával, ahogyan az a meglévő adatok elemzéséből és a klímaváltozást előrejelző modellek eredményeiből kitűnik (IPCC, 2007). Ennek várható következménye, hogy az emberi szervezetet ért klimatikus terhelés is változik. Bizonyos esetekben nő (pl. nyáron, hőhullámok idején), máskor mérséklődik (téli és/vagy fényszegény időszakban) (Pascal et al., 2006). Ezekre a változásokra csak a jelenség és következményeinek pontos ismeretében lehet felkészülni, illetve hatékony stratégiákat kidolgozni a negatív hatások mérséklésére. Szükségessé válik például a városi termikus komfort viszonyok optimalizálása, lehetőleg olyan módon, ami – a fenntarthatóság jegyében – nem jár a környezet túlzott megterhelésével (pl. légkondicionáló berendezések túlzott, olykor szükségtelen használata).

A humán komfort fogalma, kutatási eredményei hazánkban még kevésbé ismertek, bár az utóbbi években legalább a szakmai közönség tekintetében pozitív változás következett be (Holicska, 2008). A köztudatban azonban (pl. politikai döntéshozók, gyakorlati város- és turizmustervezés) szinte teljesen ismeretlenek a tudomány legfrissebb eredményei és az alkalmazhatóság lehetőségei, így a projekt tervezés és a döntéshozás mellőzi a humán bioklimatikus szempontok figyelembevételét. Magyarország klimatikus háttéradottságai (a medence jellegből adódó viszonylag erős kontinentalitás) és a klímaváltozás Kárpát-medencére előre jelzett tendenciái szükségessé teszik az efféle vizsgálatokat hazánkban is (pl. Weidinger et al., 2000; Bartholy et al., 2008). Különösen fontos lehet ez egy olyan város szá-

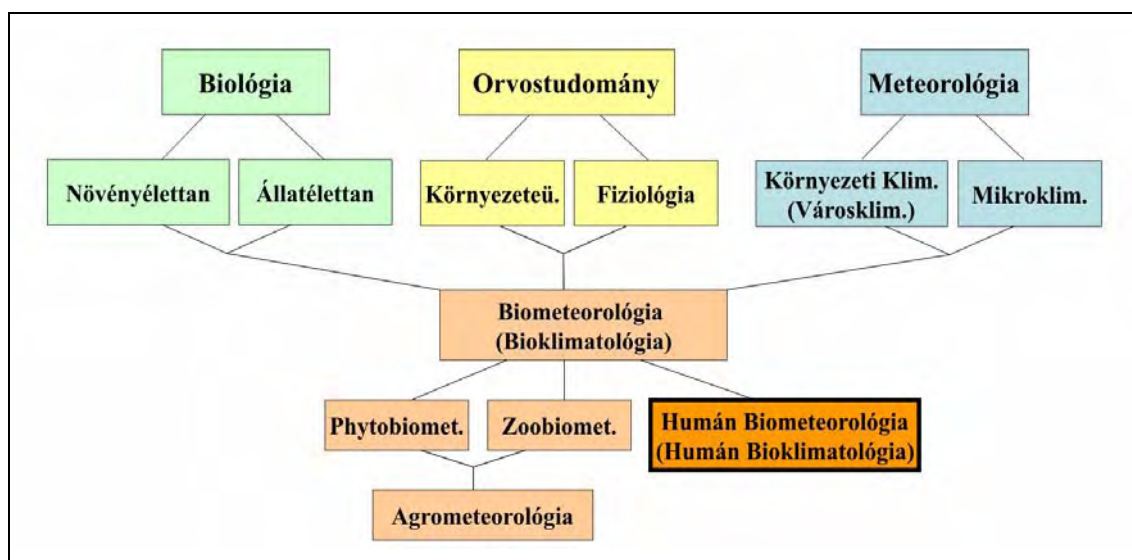
mára, mint Szeged, ahol az országos átlagnál magasabb a napsütéses órák száma illetve az átlaghőmérséklet. A korábban vázolt tények tükrében nem elhanyagolható, hogy ez a természetes adottság hogyan befolyásolja az itt élők komfortérzetét.

Ennek megfelelően kutatásaim során a következő célokat tűztem magam elé:

- rövid magyar nyelvű összefoglalást adni a nemzetközi humán bioklimatológiai kutatások történetéről, elméleti háttéréről és legfrissebb eredményeiről
- bemutatni egy az emberi szervezet hőérzetének (humán komfort) számszerűsítésére alkalmas módszert, különböző tér- és időbeli léptékeken magyarországi körülmények között
- bemutatni és számszerűsíteni a különböző városi mikrokörnyezetek termikus komfortviszonyait Szeged példáján
- rávilágítani a városi és a városon kívüli területek humán bioklimatikus viszonyában tapasztalható legfontosabb eltérésekre Szeged példáján
- jellemezni a kapcsolatot (jelleg, erősség) a fiziológiai terhelés mértéke és a meteorológiai paraméterek között mezo léptékben
- adatokkal szolgálni a várostervezés számára a városi humán komfort lehetséges optimalizálása érdekében
- elkészíteni Magyarország bioklíma térképét

2. Humán biometeorológia/bioklimatológia

A minket körülvevő atmoszférikus környezet számos ponton gyakorol hatást az élő szervezetekre. Ennek a hatásnak a mibenlétét, mechanizmusát, erősségét és részfolyamatait kutató tudományág a biometeorológia, vagy bioklimatológia. (A szakmai terminológia részben szinonimaként használja a két fogalmat, de bizonyos esetekben léptékbeli különbséget tesz, és a kis idő- és térbeli léptékeknél használja a biometeorológia fogalmat. Ennek ellenére a humán komfort vizsgálatok nemzetközi szakirodalmában gyakrabban használt a bioklimatológia elnevezés, ezért a későbbiekben én is ezt a megnevezést használom legtöbbször.) A Nemzetközi Biometeorológiai Társaság (*International Society of Biometeorology - ISB*) 1996-os definíciója szerint a biometeorológia olyan interdiszciplináris tudomány, amely a különböző atmoszférikus folyamatok és az élővilág kapcsolatát vizsgálja. A bioszféra hármas tagolódásának megfelelően 3 álgazatra bontható az alapján, hogy az atmoszféra és a növények (phytobiometeorológia), az állatok (zoobiometeorológia) vagy az ember (humán biometeorológia/klimatológia) kapcsolatát kutatja-e (Höppe, 2000). Az első kettő speciális, elsősorban agrár- és erdőgazdasági szempontú ötvözte az agrometeorológia (Szász és Tőkei, 1997).



2.1.1. ábra. A biometeorológia elhelyezkedése a tudományok rendszerében és a humán biometeorológia kapcsolatrendszer a legfontosabb határtudományokkal (Höppe, 1997 nyomán)

Bártfai (1986) definíciója szerint a humán biometeorológia olyan tudomány, amely a meteorológia (pl. környezeti klimatológia, mikroklimatológia), az orvostudományok, a biológia, a fizika és a kémia, a pszichológia, az ergonómia stb. eszközeivel az ember és a légkör kölcsönhatását vizsgálja, az eredményeket pedig a gyakorlatban alkalmazza (2.1.1. ábra).

2.1. A humán bioklimatológia rövid története

A humán bioklimatológiát önálló tudományként csak a múlt század 20-30-as éveitől tartják számon, az alapproblémája – hogy hogyan hat a levegőkörnyezet az emberi szervezetre – azonban már sokkal régebb óta foglalkoztatja a társtudományok, elsősorban az orvostudomány képviselőit.

Az ókor és a középkor nagy gyógyítói modern természettudományos ismeretek nélkül, pusztán megfigyelések alapján is gyakorta véltek kapcsolatot felfedezni a levegő, illetve az időjárás különböző jellemzői és bizonyos megbetegedések előfordulása, rosszabbodása vagy javulása között. Ezek közül a legismertebbek Hippokratész (i.e. 460-377) illetve Galenus (i.sz. 131-220) munkái voltak, amelyeket az i.sz. 980-1037 között élő arab orvos Avicenna fordított arabra és egészített ki a saját megfigyeléseivel. Ezáltal maradhattak fenn ezek az ismeretek a későbbi korok számára (Lányi, 1990). A középkor hosszú csendje után a XIX. században ismét előtérbe került ez a kérdéskör és a XX. század első felétől számtalan ilyen témájú munka született. Kutatják a különböző időjárási tényezők morbiditási és mortalitási mutatókra gyakorolt hatását (pl. Gover, 1938; Alderson, 1985; Lehl, 1998; Davis et al., 2002; Kysely and Kříž, 2008), egyes megbetegedések (pl. cardio-vasculáris, mozgásszervi) és az időjárási tényezők kapcsolatát (pl. Staiger, 1982; Khaw, 1995; Donaldson and Keatinge, 1997; Nakai et al., 1999), különös tekintettel a hőhullámok okozta megterhelésre (Applegate et al., 1981; Gaffen and Ross, 1998) illetve az időjárás-érzékenység mibenlétére (Assmann, 1963, Faust et al., 1973, Faust, 1985). Vagyis a vizsgálatok elsősorban orvosmeteorológia szempontúak.

A nemzetközi tendenciákhoz hasonlóan az 1930-astól a 60-as évekig hazánkban is virágkorát élte az orvosmeteorológia (Antal, 1999). A hazai kutatások ezt követően is a különböző időjárási helyzetek és az emberi szervezet patológiás válaszreakcióinak kapcsolatát vizsgálták leggyakrabban (pl. Pálóczi és Zimmermann, 1988; Mészáros, 1990). A hazai orvosmeteorológiai kutatásokban az előbbihez hasonló jelentőségűek a levegő összetételének (a modern terminológia szerint az ún. levegőhigiénés komplex hatásainak), illetve a különböző hullámhosszú sugárzás (ún. aktínikus komplex) emberi egészségre gyakorolt hatásainak kutatásai (pl. Grubich, 1961, Bártfay et al., 1994, Márk, 1996). A XX. század közepéig ez a jobbra orvosi szempontú megközelítés kapta a bioklimatológián belül a fő hangsúlyt és azóta is nagy jelentőséggel bír.

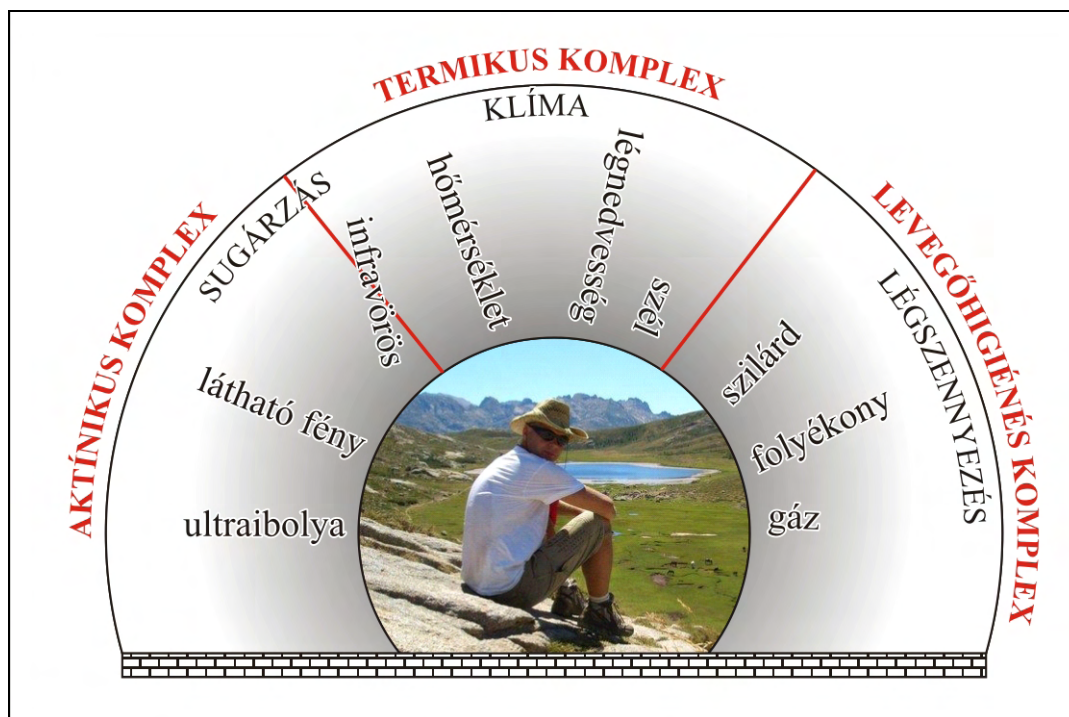
Az 1930-as évektől azonban ezzel párhuzamosan kibontakozott egy új, ún. energetikai megközelítés, amely elsősorban az egészséges emberi szervezet és légköri környezet közötti energiaáramlási folyamatok pontos feltérképezését tűzte ki célul (Büttner, 1938). Ez az irány-

zat abból a szempontból értékeli a testet körülvevő levegőkörnyezetet (annak is elsősorban a termikus összetevőit), hogy abban a test milyen erősségű alkalmazkodási reakciókra kénytelen a homeosztázisának (a belső környezet dinamikus egyensúlyának) fenntartása érdekében. Minél kisebb az alkalmazkodáshoz szükséges energia, annál kisebb a környezet által kiváltott stressz, azaz a test annál komfortosabban érzi magát az adott környezetben. Ennek a komfort-érzésnek (vagy a másik oldalról nézve terhelő hatásnak) a kifejezésére és számszerűsítésére előbb egyszerűbb, majd (a témához kapcsolódó ismeretanyag és a számítógépes támogatottság növekedése folytán) egyre összetettebb szempontrendszer alapján került sor. A humán bioklimatológia ezen ágának (a 60-as évektől tapasztalható igazán dinamikus) szemléletbeli fejlődését – mivel ezek a kutatások jelentik dolgozatom témájának közvetlen előzményét – a 2.2. és a 2.3. *fejezetekben* fejtem ki részletesebben.

2.2. Az emberi szervezet és az atmoszférikus környezet kölcsönhatása

Ahogy egyetlen élő szervezet, úgy az ember sem függetlenítheti magát az őt körülvevő atmoszférikus környezet összetett hatásaitól. Minden időpillanatban számos fiziológiai mechanizmus együttes hatása szükséges ahhoz, hogy a test homeosztázisa fennmaradjon. A légköri környezet számtalan fizikai és kémiai paramétere (pl. légnyomás, léghőmérséklet, különböző hullámhosszú sugárzás, légnedvesség, a levegő összetétele, zajszint, stb.) igen bonyolult kapcsolatrendszerben fejti ki hatását az emberi szervezetre. Ebből a szempontból az egyes tényezők külön-külön általában nem értelmezhetők, mert a különböző fiziológiai alkalmazkodási reakciókat egymással „együtműködve”, komplex hatásként váltják ki. Ezért a humán bioklimatológia ún. hatás-komplexekbe csoportosítja az egyes paramétereket aszerint, hogy azok milyen jellegű reakciókat váltanak ki a szervezetben (2.2.1. *ábra*).

Az ún. *aktínikus komplex* a napsugárzás azon hullámhosszú tartományait foglalja magába, amelyek közvetlen kémiai hatást gyakorolnak a szervezetre. Ide tartozik az ultraibolya sugárzás egy része, amelyet nem szűr ki a troposzférikus ózonréteg (UV-B és A: ~ 280-400 nm), illetve a látható fény azon tartománya, amely még nem jár jelentős hőhatással (~ 400-660 nm). A komplex által kiváltott sokféle reakció közül a legfontosabbak az elsődleges és másodlagos pigmentáció, a bőröregedés folyamatának meggyorsítása, a gyulladásos bőrpír (erythema) megjelenése, a szem különböző elváltozásai (pl. szürkehályog-katarakta, szaruhártya gyulladás-keratitis kialakulásának elősegítése), a D-vitamin képződés, a szervezet cirkadián ritmusának „beállítása”, baktericid és karcinogén hatás, stb. (Jendritzky, 1993).



2.2.1. ábra Az atmoszférikus környezet legfontosabb összetevői és tagolódásuk a hatás-komplexek között (Jendritzky, 1993; VDI, 1998 nyomán)

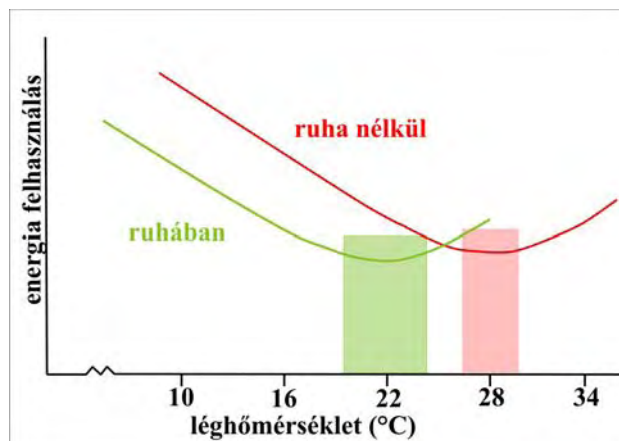
Az ún. *levegőhigiénés komplex* az egészségre ártalmas gáz-, folyékony- és szilárd halmazállapotú, természetes vagy antropogén forrásból származó, nyílt vagy zárt térben ható légszennyező komponenseket tartalmazza. A szervezetből kiváltott hatás mértéke nagyban függ az emissziós forrásoktól, az immissziós körülményektől és a transzmissziós folyamatoktól, minősége pedig rendkívül széles skálán mozog (pl. légzőszervi megbetegedések, allergiás reakciók, rákkeltő hatás, stb.).

Az ún. *termikus komplex* az emberi szervezet termoregulációs folyamataira hatást gyakorló meteorológiai paramétereket foglalja magába. Ezek a látható fény leghosszabb hullámhosszú tartományai, a már nem látható tartományba eső hőhatású infravörös sugárzás, a lég-hőmérséklet, a szél és a légnedvesség (Jendritzky, 1993; VDI, 1998). Kutatásom fő témáját ezen komplex hatásai képezik, így a továbbiakban az ezzel kapcsolatos legfontosabb háttérismerteket foglalom össze röviden.

2.2.1. Az emberi szervezet hőszabályozása

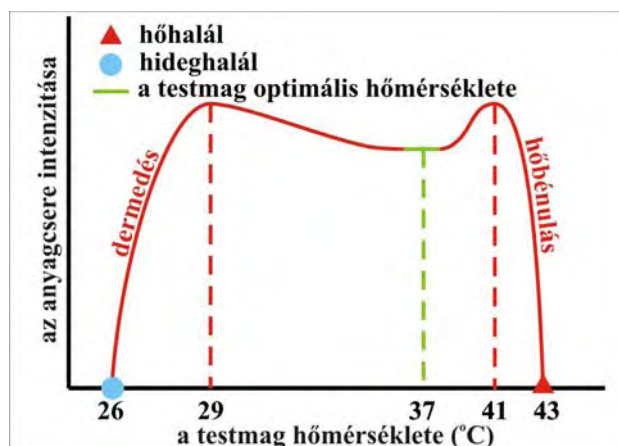
Az ember, mint állandó testhőmérsékletű (homoioterm) élőlény, képes az igen változó termikus környezeti feltételek ellenére is testmagjának (a test azon belső régiója, ami a létfontosságú szerveket foglalja magába: agy, mellüreg és szervei, hasüreg és szervei) hőmérsékletét igen szűk határok között mozgó standard érték (~37 °C) körül tartani, ami elengedhetetlen az enzimikus folyamatok optimális működése érdekében. A testhőmérséklet optimá-

lishoz közeli értéken tartásához meglehetősen sok energiát használ fel a szervezet, amit a metabolikus (anyagcsere) folyamatok révén nyer a táplálék biológiai oxidációja során. A táplálékból nyert energia 50-60 %-a erre fordítódik, de extrém esetben (szélsőségesen hideg és/vagy szeles környezetben) ez az érték akár a 80-90 %-ot is elérheti.



2.2.2. ábra Az emberi szervezet termoneutrális zónája ruhában és ruha nélkül (Ganong, 1990 nyomán)

A környező levegő azon hőmérsékleti tartománya, amelyben a legkevesebb energia használódik fel az állandó testhőmérséklet fenntartásához, az ún. termoneutrális zóna (2.2.2. ábra). Ez ruhátlan test esetén körülbelül 27-29 °C, ruhával fedett test esetén pedig 20-24 °C körüli érték átlagos (pl. szobai) körülmények között.

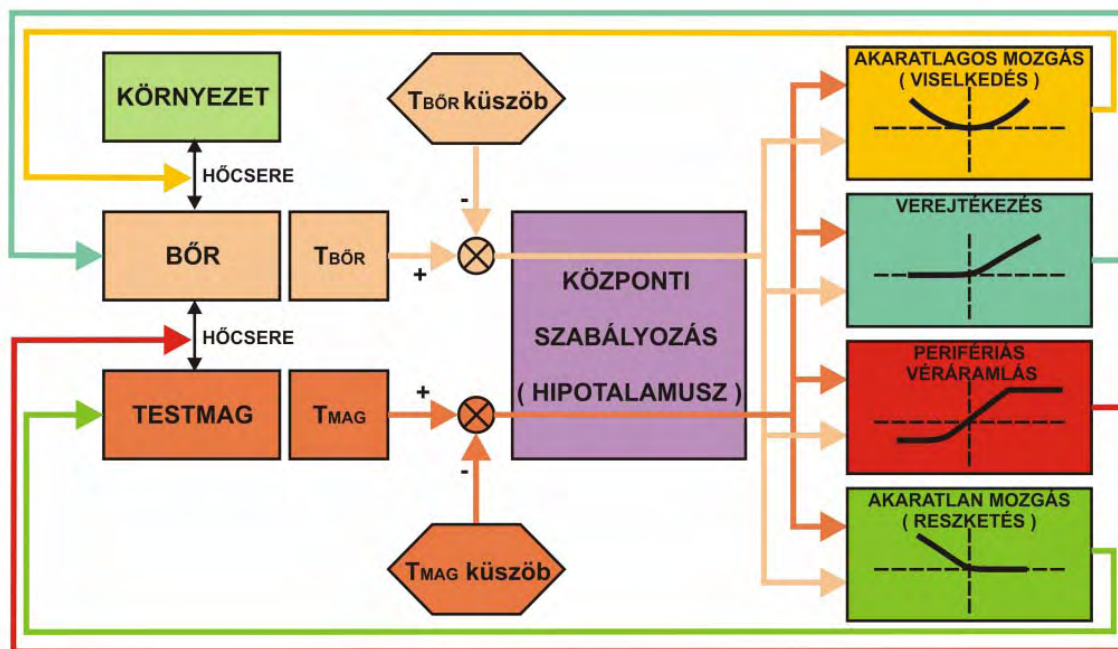


2.2.3. ábra Az anyagcsere-folyamatok intenzitása a testmag hőmérsékletének függvényében (Ganong, 1990 nyomán)

A testmag hőmérsékletének megváltozása (bármely irányban) – részben a termoregulációs válaszreakciók hatására – az anyagcsere folyamatok intenzitásának növelésével jár, ám ez csak egy bizonyos szintig növelhető (2.2.3. ábra). A szervezet valamivel ellenállóbb a testhőmérséklet csökkenésével, mint emelkedésével szemben. Az optimálistól felfelé való eltérés

már 4 °C után maradandó károsodást okozhat (hipertermiás állapot), 6 °C-os testhőmérséklet-emelkedés pedig az esetek túlnyomó részében letális.

A testmag hőmérsékletének csökkenése (bár a csökkenéssel arányosan az idegi reakció-idő nő és egyes perifériás testrészek károsodhatnak) csak mintegy 10 °C után halálos.



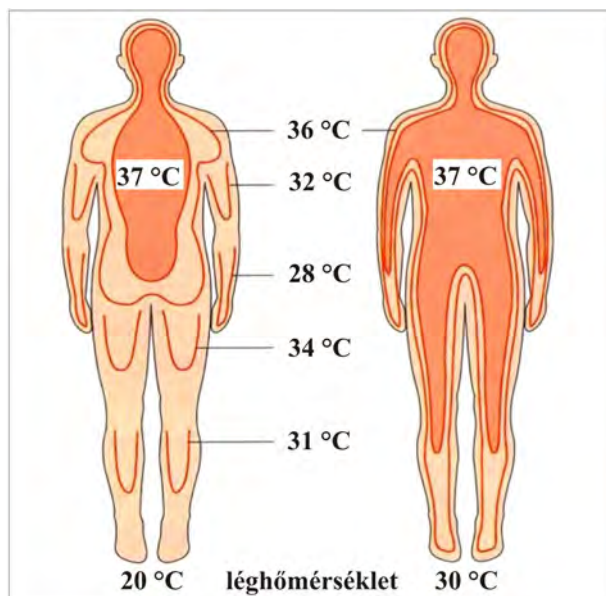
2.2.4. ábra A szervezet legfontosabb hőszabályozási folyamatainak sémája, $T_{bőr}$: a bőr átlagos hőmérséklete, T_{mag} : a testmag hőmérséklete (Fiala et al. 2001; Havenith, 2005 nyomán)

A testmag állandó hőmérsékletének fenntartása érdekében a hőleadási és a hőnyerési folyamatoknak hosszabb távon kiegyenlítettnek kell lenniük. Ezt a rendkívül összetett alkalmazkodási feladatot a test hőszabályozási folyamatainak finom összehangolásával lehet elérni, amelyet a szervezetben a központi idegrendszeren belül elsősorban a hipotalamusz végez, a működését befolyásoló szenzorok pedig a bőrben és a mélyebb testtájakon található hideg- és meleg érzékelő idegvégződések.

A 2.2.4. ábra az emberi szervezet termoregulációjának legfontosabb tényezőit foglalja össze. (Az ábra nem tartalmazza a hőszabályozás egyik alappillérét, a test energia nyelését a metabolikus folyamatok révén, ami a biológiai oxidáció fokozásával növelhető). Az ábrán szereplő diagramok a különböző nagyságú hibajelzések (x tengely) és a rájuk adott reakciók (y tengely) közötti összefüggéseket szemléltetik.

Az egyik legfontosabb tényező a hőszabályozásban a perifériás véráramlás, azaz a testfelszíni erekben átáramoltatott vér mennyisége. Ez a tényező a bőrfelszín közeli erek összehúzódásával (vasoconstrictio) és elernyedésével (vasodilatatio) befolyásolható. Ha nő a periférián átáramlott vér mennyisége, akkor nő a test belsejéből a testfelszín irányába történő

hőszállítás is, így a hő – megfelelő környezeti feltételek esetén – leadható. Fordított esetben pedig a vérmennyiség csökkentésével megakadályozható (bizonyos ideig) a túlzott hőleadás. Ezáltal a test tulajdonképpen két „aktív felszínre” tagolható, a közel standard hőmérsékletű testmagra és a test perifériás részeit (bőr, bőr alatti kötőszövet, végtagok) magába foglaló – jelentősebben változó hőmérsékletű – ún. testköpenyre. (A kettő közötti kapcsolatot a vérkeringés teremti meg, ezért is van kiemelkedő szerepe a cardiovascularis rendszernek a hőszabályozásban.)



2.2.5. ábra A testköpeny hőmérsékleti régiói két különböző légkörhőmérséklet esetén (átlagos, pl. szobai körülmények között) (Aschoff et al., 1971; Höppe, 1993 nyomán)

A testköpeny hőmérsékleteként a különböző testtájak bőrfelület-hőmérsékleteinek területarányosan súlyozott átlagát tekintjük. A 2.2.5. ábra azt mutatja, hogy különböző légkörhőmérséklet esetén hogyan módosul a testköpeny hőmérsékleti elrendeződése.

Természetesen a testköpeny hőmérsékletének is van egy határa, ami alá csökkenve károsodás következik be a szövetekben. (Ez leggyakrabban a végtagok fagyási sérüléseiben nyilvánul meg, a vérellátás és ezáltal az oxigén szint lecsökkenése miatt.) A köpeny hőmérsékletének extrém lesüllyedése előbb-utóbb maga után vonja a testmag hőcsökkenését is.

A hőszabályozás másik fontos tényezője (ami szintén a testhőmérséklet csökkenése ellen ható mechanizmus) a reszketés, mint akaratlan mozgás. A izommozgás jelentős mértékben megemeli a metabolikus hőtermelést és ezzel emelni képes a testmag hőmérsékletét.

A hőszabályozás harmadik alapvető tényezője a verejtékezés, és a verejték elpárolgása során bekövetkező látens hővesztés. Magas légkörhőmérséklet, vagy erős izomtevékenység során egyre növekvő számban lépnek működésbe a bőr középső szöveti rétegében elhelyezkedő verejtékmirigyek, váladékukat a testfelszínre juttatják, ami elpárologva hőt von el a szervezetből (Ganong, 1990).

A termoreguláció folyamatainak negyedik csoportja az eddigi automatikus folyamatokkal szemben olyan tényezőkből áll, amelyek valamilyen akaratlagos tevékenység révén (ún. viselkedési hőszabályozás) segítenek elérni a testhőmérséklet közel állandó szinten tartását. Ilyenek lehetnek például az akaratlagos helyváltoztató mozgás: a számunkra túl terhelő környezet (pl. erős direkt sugárzás nyári melegben) elkerülésére, túl hideg esetén fokozott (akaratlagos) izomtevékenység, vagy a ruházódásunk megváltoztatása.

2.2.2. Az emberi test hőháztartása (energia-egyenleg)

A testet körülvevő termikus környezet pontos jellemzésének alapja a test és a környezet közötti energiaáramlások minden részletre kiterjedő leírása. A termodinamika I. főtételenek megfelelően a felvett és a leadott energia mennyisége hosszabb távon egyensúlyban kell, hogy legyen, mert a rendszer (ez esetben a szervezet) csak rövid ideig viseli el károsodás nélkül a raktározott energia nagy mértékű megváltozását és az ezzel járó testhőmérséklet változást. Ez másképpen úgy fogalmazható meg, hogy az energia-egyenleg két oldalának, a bevételi (saját energiatermelés, energianyerés kívülről) és a kiadási (energiavesztés) oldalnak egyensúlyban kell lennie.

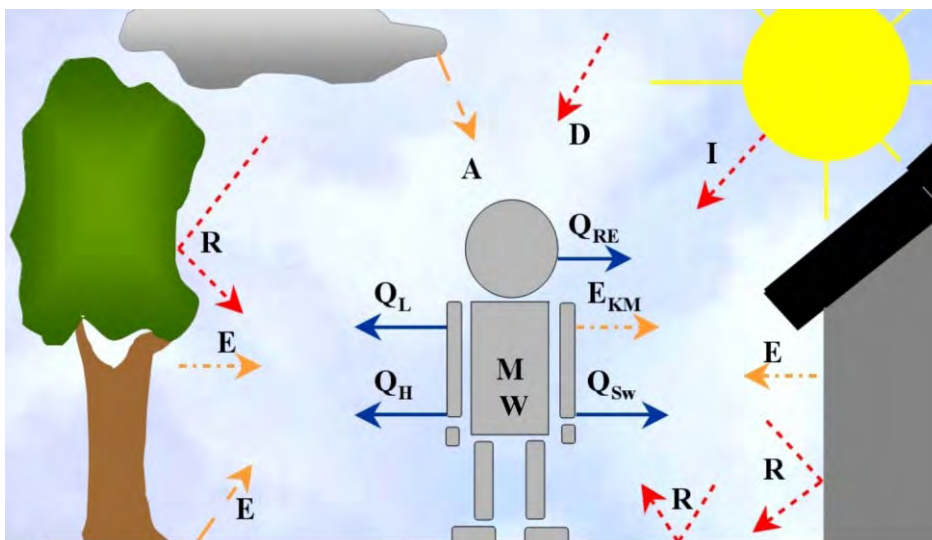
A hőcsere történhet érzékelhető hő formájában, amely szállítható sugárzás (radiáció), áramlás (konvekció) vagy vezetés (kondukción) útján. Ez utóbbi két esetben jelentős szerepe van a test és az őt körülvevő közeg (és tereptárgyak) hőmérséklete közötti különbségnek, mert a hőmérsékleti gradiens függvényében változik a hőáramlás intenzitása és iránya (vagyis ez a test számára vagy hőleadást vagy hőbevételt jelent). A hőcsere másik módja a párolgás (evaporáció) során történő látens hővesztés. A bőrfelszínről elpárolgó víz halmazállapot változását hőelvonás kíséri, ahol a vízpára és az átalakuláshoz szükséges testből elvont energia konvekció útján szállítódik el. A folyamat intenzitása a bőrfelszín és a környezeti levegő párhányomásának különbségétől és a légáramlás sebességétől függ.

Az emberi test és a környezete közötti energiaáramlások leírása, és ezáltal a test energia-egyenlegének alapgondolata már az 1930-as években megjelent (Büttner, 1938). Az 1960-as évek óta többen tökéletesítették, és azóta alapját képezi minden modern humán bioklimatológiai megközelítésnek (Fanger, 1970; Gagge et al., 1971a; Höppe, 1984; VDI, 1998).

A 2.2.6. ábra azokat az áramlásokat mutatja be, amelyek a környezetből a test felé, illetve a testből a környezet felé haladva a hőszabályozási folyamatok segítségével kialakítják a testmag közel standard hőmérsékletét. A folyamat a következő egyenlettel írható le:

$$M+W+Q^*+Q_H+Q_L+Q_{SW}+Q_{RE}=AS \quad (2.1)$$

A (2.1.) egyenletben az M a metabolikus ráta, amely a testben zajló biológiai oxidáció során felszabaduló energia. Ennek egy része az izomtevékenység (W) által felhasználódik (a folyamat során pedig hő szabadul fel). Az izommunka általi energiaveszteség részaránya általában 0-20 % között mozog, nyugalomban vagy enyhe fizikai aktivitásnál a 0-hoz van közel (Parsons, 1993; Havenith et al., 2002).



2.2.6. ábra Az ember energia-egyenlegében résztvevő áramlások (Jendritzky, 1993; Havenith, 2005 nyomán)

A Q^* a testet érő teljes sugárzási mérleg (részletezésére később kerül sor), Q_H az érzékelhető (konvektív) hőáramlás, Q_L a kültakarón (bőr, nyálkahártya) átdiffundáló víz elpárolgása hatására bekövetkező látens hőáramlás, Q_{SW} a verejték elpárolgásának hatására történő látens hőáramlás, Q_{RE} kilélegzett levegővel történő (érezhető és látens) hőcsere, ΔS pedig a testben raktározott hőmennyiség változása. Az egyenletben szereplő nettó sugárzási mérleg (Q^*) számos hosszú- és rövidhullámú összetevő eredőjeként alakul ki, ami a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$Q^* = I + D + R + A + E + E_{KM} \quad (2.2.)$$

A (2.2.) egyenletben az I a Napból érkező rövidhullámú direkt sugárzás, D a légkör elemein szétszóródó rövidhullámú (diffúz) sugárzás, R a tereptárgyakról visszaverődő rövidhullámú sugárzás, A az atmoszférikus hosszuhullámú sugárzás, E a környező tereptárgyak hosszuhullámú kisugárzása, melyek a testet érik, valamint E_{KM} a test hosszuhullámú kisugárzása.

A (2.1.) egyenletben szereplő egyes mennyiségek pozitív vagy negatív előjelűek is lehetnek, mert bizonyos esetekben bevételként, máskor pedig kiadásként jelennek meg a test számára. Ilyen pl. a nettó sugárzási mérleg (Q^*) és a teljes testfelületen illetve a légzőszerven

át történő érzékelhető hőcsere (Q_H illetve Q_{RE} bizonyos része). A metabolizmus tényezője (M) mindig pozitív, a látens hőcsere folyamatok (Q_L , Q_{SW} , Q_{RE} látens része) pedig mindig veszteséget jelentenek. A (2.1.) egyenlet végeredménye a testben raktározott hőmennyiség megváltozása (ΔS), ami normális esetben 0-hoz közeli érték (Fanger, 1970; VDI, 1998; Ali-Toudert, 2005).

2.2.3. Az energia-egyenleget befolyásoló környezeti és testi tényezők

Az energia-egyenlegben vázolt hőáramlási folyamatokra (és az ezzel szoros összefüggésben lévő – részletesen a 2.3. fejezetben elemzett – komfortérzetre) számos meteorológiai és a testre vonatkozó személyes tényező gyakorol hatást. Közülük a legfontosabbak a sugárzás, a hőmérséklet, a légmozgás és a légnedvesség, valamint a ruházat, kor és a nem.

Sugárzás









A kültéri viszonyok között a sugárzás nagyon fontos faktora az emberi energia-egyenlegnek (közepes földrajzi szélességeken, nyári időszakban nappal a legfontosabb). Pontos jellemzése az egyik legösszetettebb feladata a humán bioklimatológiának (főleg kültéri körülmények között), különösen összetett felszíni struktúra (pl. a természeteshez képes anyagi és geometriai tulajdonságait tekintve jelentősen módosult városi felszín) esetén. Függ a napszaktól, számtalan hosszú- és rövidhullámú komponensből tevődik össze, a tér számtalan irányából érkezik (a tereptárgyakról kibocsátódik, illetve visszaverődik), azaz más és más szög alatt éri a test különböző tájait, tehát térben és időben is rendkívül változékony (Kenny et al., 2008).

E komplex tényező kifejezésének a megkönnyítésére fejlesztették ki az ún. *átlagos sugárzási hőmérséklet* (*Mean Radiant Temperature: T_{mrt}*) mérőszámot, amely összegzi a test által abszorbeált valamennyi rövid és hosszú hullámú sugárzási komponens hatását. A T_{mrt} kulcsfontosságú változó az energia-egyenleg alakulásában (és – főleg a kültéri – komfortérzet értékelésében), különösen nyáron napos időben, jóllehet e tényező kiszámítása (illetve mérése) korántsem egyszerű (pl. összetett városi környezetben).

A T_{mrt} definíciója szerint annak a fekete testnek tekintett (emissziós együtthatója $\varepsilon = 1$) környezetnek a (°C-ban kifejezett) hőmérséklete, amellyel a benne elhelyezkedő test ugyanolyan mértékű sugárzási energiacserét bonyolítana le, mint az adott pillanatban a testet körülvevő valós környezettel (ASHRAE, 2001). Kiszámítására több módszer is létezik, melynek elméleti hátterét Fanger dolgozta ki (Fanger, 1970; Matzarakis et al., 2007) és a következő egyenlettel írható le (Matzarakis et al., 1999b):

$$T_{mrt} = \left[\frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^n \left(E_i + a_k \frac{D_i}{\varepsilon_p} \right) F_i + \frac{f_p a_k I^*}{\varepsilon_p} \right]^{0,25} \quad (2.3.)$$

A (2.3.) *egyenlet* azon alapul, hogy a testet körülvevő környezetet n darab felszínre bontja. Minden felszínhez tartozik egy hosszúhullámú komponens (E_i), egy diffúz visszaverődő sugárzási komponens (D_i) és a beesési szögtől függő súlyozási faktor (F_i), valamint szerepel az egyenletben a Stefan-Boltzmann állandó ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$). Amennyiben a testet direkt sugárzás is éri, akkor ehhez hozzáadódik a felszínt érő direkt sugárzási komponens (I^*), annak a felszíni beesési szögétől függő f_p faktor (f_p a napmagasságtól és a test pozíciójától függ), a testfelszín rövidhullámú sugárzással szembeni elnyelőképessége ($\alpha_k \approx 0,7$) és az emberi test emissziós együtthatója ($\varepsilon_p \approx 0,97$) (Matzarakis et al., 1999b).

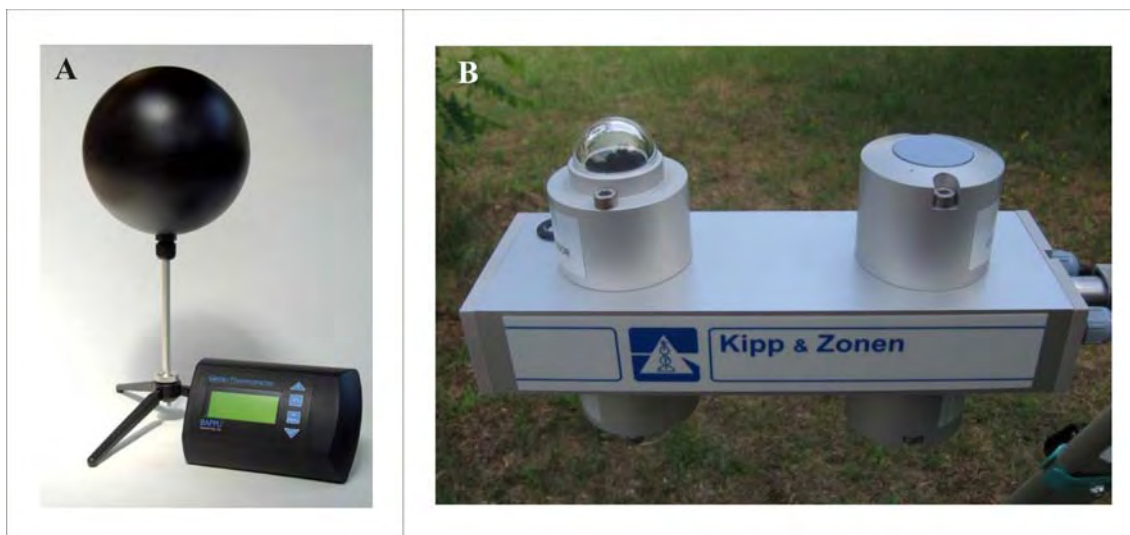
azimut	napmagasság			
	0°	30°	60°	90°
0°				
	0,60	0,41	0,22	0,081
90°				
	0,304	0,272	0,176	0,081

2.2.7. ábra Álló ember napsugárzásnak kitett testfelületének aránya a teljes testfelülethez képest különböző napmagasság és azimut értékek esetén (Auliciems and Kalma, 1979; Jendritzky et al., 1979; Oke, 1987 nyomán)

Gyakorlatban az f_p meghatározása viszonylag egyszerű, értéke a napmagasságtól és az azimuttól függően 0,6 és 0,081 között változik annak függvényében, hogy a testfelület mekkora hányadát éri a direkt napsugárzás (2.2.7. ábra). Az egyenlet legkritikusabb pontja az F_i szögfaktor kiszámítása, már abban az esetben is, ha a környezet csak néhány felszínre tagolódik. Ez a tényezőt Fanger (1970) egyszerű formákra adta meg, de összetett városi környezet esetén a helyzet rendkívül bonyolult is lehet, így szükségszerű (és elkerülhetetlen) az egyszerűsítés.

A T_{mrt} előállítására (modellezés, mérés) több módszer létezik. A legegyszerűbb módszer egy integrált sugárzásmérő műszer, az ún. gömbhőmérő használata, ami egy 15 cm átmérőjű

fekete matt festéssel bevont gömb, hőmérővel a közepén (2.2.8.A ábra). A műszer által mért hőmérséklet az egyensúlyi helyzet beállása után (15-20 perc) a gömböt érő energianyeresi és -vesztési folyamatok (sugárzás, konvekció) eredőjeként jön létre. Ezután a T_{mrt} -t egy empirikus formula segítségével számolják ki az ún. gömb-hőmérséklet, a léghőmérséklet és a szélesebség felhasználásával (Givoni, 1976; ASHRAE, 2001). Ez a módszer leginkább beltéri körülmények között ad jó közelítést az átlagos radiációs hőmérsékletre, de vannak biztató kísérletek a szabadtéri használatára is (Thorsson et al., 2007).



2.2.8. ábra (A) gömbhőmérő, (B) pyranométer és pyrgeométer képe

Höppe (1992) egy másik T_{mrt} mérési technikát javasol, amely magába foglalja az összes sugárzási fluxust, a szögfaktort és az emberi test alakját is. A testet körülvevő környezetet 6 fő irányra tagolja és a különböző irányokból érkező sugárzási komponenseket más-más súllyal veszi figyelembe (főnt és lent 0,06, a négy, egymásra merőleges vízszintes irányban 0,22-0,22 a súlyfaktor). A pyranométer és pyrgeométer a tér 6 irányába állítva méri a hosszú- és rövidhullámú sugárzási fluxust (2.2.8.B ábra). Ez a módszer meglehetősen pontos, bár igen idő és pénzigényes.

Így manapság a kültéri komfortvizsgálatokban a T_{mrt} előállítására leginkább egy harmadik módszert alkalmaznak, melynek során a globálisugárzásból (mint könnyen mérhető meteorológiai paraméterből) és egyéb (pl. a talaj és a falak hőtárolását, az égbolt láthatósági viszonyait is figyelembe vevő) tényezőkből modellezik (Matzarakis et al., 2007).

Hőmérséklet

Az emberi hőszabályozás másik fontos környezeti faktora a testet körülvevő vagy azzal érintkező közeg (és/vagy tereptárgyak) hőmérséklete. Ezek közül a legfontosabb természetesen a léghőmérséklet (T_a), ami a hőmérsékleti gradiensnek megfelelően a konvektív hőcsere

irányának meghatározója. Mindaddig, amíg a levegő hőmérséklete alacsonyabb a test hőmérsékleténél, a hőszállítás a környezet felé irányul, ebből következően leáll, vagy éppen hőközléssé válik, ha a környezeti hőmérséklet túl magasra (kb. 33 °C fölé) emelkedik.

Ritka esetben (pl. fekvő testhelyzet esetén) fontos lehet a testtel nagyobb felületen érintkező tereptárgy (talaj) felszíni hőmérséklete, ami a konduktív hőcserére gyakorol hatást (Havenith, 2005). (Általában ez a tényező függőleges testhelyzetben elhanyagolható, így nem is szerepel az energia egyenleg összetevői között).

Légnedvesség

A látens hővesztés fontos faktora a környező levegő nedvességtartalma (könnyen mérhető paraméterei a gőznyomás: *VP*, vagy a relatív nedvesség: *RH*), hiszen alacsony páratartalmú levegőben a bőrfelszínre kerülő verejték (illetve a bőrön átdiffundáló nedvesség) nagyobb hatékonysággal párolog el, és ezzel jelentős hőt von el a szervezettől.

Humán bioklimatológiai szempontból a legfontosabb mutató a telítettségi hiány, vagyis, hogy mennyi a levegő adott hőmérsékleten maximálisan befogadható, és ehhez képest az éppen aktuális páramennyisége közötti különbség. Ettől függ ugyanis, hogy a test tud-e (és ha igen mennyi) hőt leadni párolgás útján. Amikor a környező levegő hőmérséklete 30 °C fölé emelkedik, a konvektív érzékelhető és a radiációs hőleadás már csak minimális szerepet játszik a hőháztartási egyensúly (azaz energia-egyenleg) fenntartásában. Ekkor az evaporatív hőleadás lesz a főszerep, viszont pl. 35 °C léghőmérséklet esetén 66% relatív páratartalom ($VP=31,7$ hPa) a fordulópont, annál magasabb érték esetén rohamosan csökken az evaporatív hőleadás lehetősége is (Andrade and Alcoforado, 2008). (Ezért olyan megterhelő a szervezet számára a szubtrópusi, trópusi környezetben tapasztalható magas hőmérséklettel párosuló nagy páratartalom.) Szintén komoly veszélyt jelent a sivatagi körülmények között tapasztalható extrém alacsony páratartalom, hiszen a magas hőmérséklet miatt az érzékelhető hőleadás akadályozott, a test fokozott verejtéktermeléssel reagál, ami rendkívül gyorsan elpárolog a testfelszínről. Ez a folyamat néhány órán belül a test kóros kiszáradásához vezethet, ami maga után vonja a hőháztartás egyensúlyának felborulását is (WMO, 1992).

Légmozgás

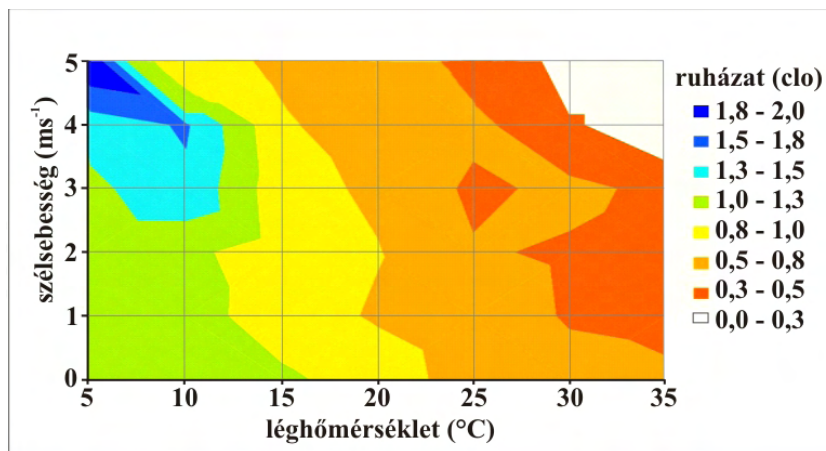
A szélesebbesség (v) növekedésével mind a látens, mind az érzékelhető hőcsere hatékonysága növekszik, mivel a légmozgás megkönnyíti a testfelszín közelében a vízgőzzel telítődött, vagy felmelegedett levegőréteg elszállítódását. Ennek következtében minél nagyobb a szélesebbesség, annál jelentősebb környezeti hatótényezővé válik, amely különösen hideg körülmények között nagyon erős hőelvonást eredményezhet (Havenith, 2005).

Az előzőek alapján az egyes meteorológiai paraméterek hatása az energia-egyenleg tényezőire röviden a következőképpen foglalható össze (Höppe, 1999; Ali-Toudert, 2005):

$$Q^* = f(T_{mrt}); Q_H = f(T_a, v); Q_{SW} = f(VP, v); Q_{RE} = f(T_a, VP); Q_L = f(VP, v)$$

Ruházat

Akaratlagos (vagy viselkedési) hőszabályozási folyamatként említettem a megfelelő ruházat megválasztását. A ruházat hő- és nedvesség szigetelő tulajdonsága, valamint albedója nagyban befolyásolhatja a termoreguláció automatikus folyamatainak hatékonyságát. A ruházat hőszigetelő képességének (I_{cl}) mértékét clo-egységekben szokás megadni. 1 clo ($0,155 \text{ Km}^2\text{W}^{-1}$) olyan mértékű szigetelést jelent, amely egy átlagos, egészséges, nyugodtan ülő személy számára komfortos közérzetet biztosít egy meghatározott paraméterekkel (léghőmérséklet 21°C , relatív nedvesség 60-70%, szélcsend) rendelkező környezetben. 1 clo nagyjából megfelel egy könnyű öltöny hőszigetelő képességének. A ruházat standardizált clo értékeiről az 1. sz. melléklet nyújt tájékoztatást. Emelkedő szélsébség és gyors helyváltoztató mozgás esetén a ruházat hőszigetelő képessége jelentősen csökkenhet (Parsons, 1993).



2.2.9. ábra A ruházat hőszigetelése a léghőmérséklet és a szélsébség függvényében (Nikolopoulou and Lykoudis, 2006 nyomán)

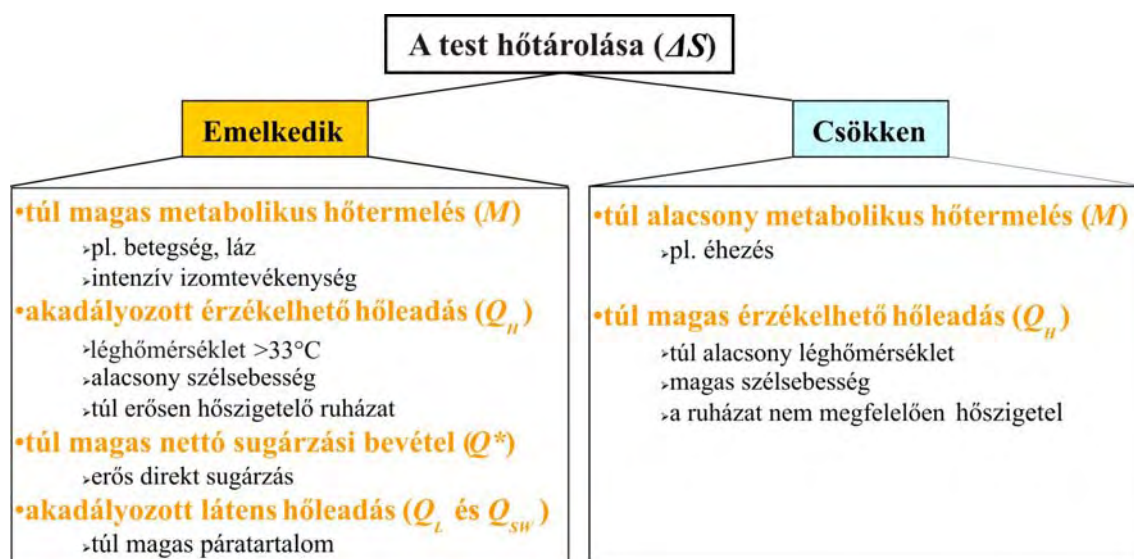
A 2.2.9. ábra egy nagyszabású nemzetközi projekt (RUROS projekt: részletesebb bemutatása a 2.5. fejezetben) keretében 7 európai nagyváros felmérési adatai alapján mutatja be, hogy az emberek által választott ruházat hogyan függ a léghőmérséklettől és a szélsébségből.

A test személyes paraméterei

Számos, a testre vonatkozó paraméter is hatást gyakorol az energia-egyenleg imént vázolt folyamataira. A bőr albedója például a bőrszíntől függően 0,35-0,18 közötti (világostól a sötétig) értékkel befolyásolja, elsősorban a rövidhullámú energiacsere folyamatokat (Oke, 1987).

A fizikai aktivitás megnöveli a metabolikus hőtermelés (M) mértékét az alapmetabolizmushoz képest. Nyugalomban a metabolizmus annyi energiát termel, amennyi a test alap életfolyamatainak ellátásához szükséges. Ez kortól, nemtől, edzettségi- és egészségi állapottól függ, átlagosan egységnyi bőrfelületre vonatkoztatva 60 Wm^{-2} körüli érték. (Egyhelyben állás kb. 90 Wm^{-2} , lassú séta 120 Wm^{-2} , futás 200 Wm^{-2}). Gyakran használják a metabolikus ráta mennyiségének kifejezésére az ún. *met* egységet is, $1 \text{ met} \approx 60 \text{ Wm}^{-2}$ (WMO, 1992).

E fejezet lezárásaként a 2.2.10. ábrán röviden összefoglalom, hogy a fenti elméleti háttér figyelembe vételével melyek azok a legfontosabb helyzetek, amelyek a hőháztartás (energia-egyenleg) egyensúlyának felborulásához vezetnek.



2.2.10. ábra A test hőháztartási egyensúlyának felborulásához vezető legfontosabb energetikai tényezők, és azok lehetséges okai

2.3. Humán komfort

Láthattuk, hogy az emberi testet körülvevő atmoszférikus környezet minden időpillanatban kisebb-nagyobb terhelést ró a szervezetre. Amikor a test hőháztartása a lehető legkisebb energia ráfordítással egyensúlyban tartható, akkor az ember komfortosan érzi magát az adott környezetben. Számos definíció létezik a termikus komfortérzet leírására, amelyek kezdetben elsősorban beltéri körülmények komfortjának kifejezésére születtek. Később a kültéri komfortérzetet leíró módszereket beltéri viszonyokra kifejlesztett metódusokból vezették le.

Az *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) a komfortérzet leírásakor annak szubjektív és pszichológiai oldalát emeli ki, miszerint a hőmérsékleti komfortérzet egyfajta pozitív vélemény (elégedettség), amellyel a környezetünk hőmérsékleti körülményeihez való viszonyulásunkat fejezzük ki (ASHRAE, 2001). Racionálisabb definíciók a komfort fogalmát energia-forgalomhoz kapcsolják, és komfortos állapotnak azt tekintik, amely során a test energia-bevételi és leadási folyamatai a lehető legkisebb energia ráfordítással tarthatók egyensúlyban (Fanger, 1970). A fiziológiai megközelí-

tés szerint komfortos állapotban a bőrben és a hipotalamuszban elhelyezkedő termoreceptorok minimálisan kerülnek ingerületi állapotba (Ganong, 1990).

A termikus komfortérzet kifejezését és számszerűsítését a kezdetektől fogva egyik legfőbb feladatának tartja a humán bioklimatológia. Az utóbbi évtizedekben több mint 100 termikus komfortindex látott napvilágot, köztük első pillanatra nem könnyű eligazodni, ám valójában sok bennük a közös vonás. Ezek alapján két nagy csoportra oszthatjuk őket: ún. empirikus és racionális indexekre. A továbbiakban az ezekkel kapcsolatos legfontosabb információkat tekintem át.

2.3.1. Első megközelítések, empirikus indexek

A termofiziológiai folyamatok komplexitásából is kitűnik, hogy a termikus komfortérzet nem írható le külön-külön az egyes meteorológiai paraméterekkel, kifejezésére ezek összekapcsolt elemzésére van szükség. A 20-as évek óta születtek ezzel a céllal ún. termikus komfortérzetet kifejező mérőszámok, azon az elven, hogy néhány olyan tényezőt (pl. hőmérséklet, légnedvesség, sugárzási viszonyok, szél, stb.) kapcsolnak össze egyetlen változóba (indexbe), amelyek együttesen hatva alakítják ki az érzékelést fiziológiai és pszichológiai értelemben (pl. Houghton and Yaglou, 1923). A termikus komfortindexek első generációja, az empirikus indexek még egyszerűbb összefüggéseken vagy méréseken alapulnak, így általában manapság már humán bioklimatológiai értelemben túlhaladtak. Gyakran csak 2-3 tényező (léghőmérséklet, légnedvesség, szélsebesség) hatását kapcsolják össze és csak egyhelyben ülő emberre vetítik azt ki (Givoni, 1969). Ezek az indexek a sugárzási viszonyokon kívül még többnyire figyelmen kívül hagyják a komfortérzetben meghatározó szerepet játszó pszichológiai-, aktívítási-, ruházati és egyéb személyes (testtömeg, testmagasság, kor, nem) tényezőket és nagy részüket zárt térben (általában munkahelyen) tartózkodó alanyra vonatkoztatták.

Néhányuk azonban éppen az egyszerű előállíthatóság és bizonyos szempontú informativitása miatt ma is használatos. Ilyen például az észak-amerikai kontinensen és (némi átdolgozás után) Ausztráliában használatos ún. *Apparent Temperature (AT)* „látszólagos hőmérséklet” index. Az extrém hideg-szeles időjárás okozta terhelés mértékének kifejezésére használják például az ún. *Wind Chill Index (WCI)* („szél csípősségi”) indexet, illetve 2001 óta annak átdolgozott változatát az ún. *New Wind Chill Temperature-t (NWCT)*, amely már energia-egyenlegesen alapuló racionális index. A meleg-nedves időjárás (fülledtség) okozta terhelő hatás kifejezésére használják az ún. *Humidex (H)* nevű mérőszámot (2. sz. melléklet). A nemzeti meteorológiai szolgálatok által kidolgozott standardok alapján az Egyesült Államokban, Kanadában és Ausztráliában ezen indexek értékei alapján rendelnek el hideg- vagy hőségriasdót, a tájékoztatás a napi időjárás jelentés részét képezi (Smoyer-Tomic and Rainham, 2001).

A 2.3.1. táblázat a teljesség igénye nélkül mutatja be a leggyakoribb empirikus indexeket a bennük összekapcsolt meteorológiai paraméterek és a szakirodalmi forrás megjelölésével.

2.3.1. táblázat A legfontosabb empirikus indexek (pl. Fountain and Huizenga, 1997; Monteiro and Alucci, 2006a,b; Epstein and Moran, 2006 nyomán) T_a : léghőmérséklet, VP : gőznyomás, v : szélesség, T_w : nedves hőmérséklet, T_g : gömbhőmérséklet, T_d : harmatponti hőmérséklet, RH : relatív nedvesség

Index	Környezeti tényezők	Dimenzió értéktartomány	Definíció, leírás	Irodalom
ET	T_a, T_w	$0 < ET < 45^\circ\text{C}$	Annak a telített és nyugalomban lévő levegőnek a hőmérséklete, amely ugyanolyan hőérzethez vezet, és ezért az alkalmazkodás ugyanolyan nehézségeinek teszi ki a szervezetet, mint a testet az adott pillanatban körülvevő levegőkörnyezet.	Houghten and Yaglou (1923)
Effective Temperature (effektív hőmérséklet)				
P4SR	T_a, T_g, RH, v	$0 < P4SR < 5$ liter/4 óra	A stressz mértékét a 4 óra alatt képződött verejték mennyiségével jellemzi.	Mc Ardle et al (1947) Watson (1987)
Predictive 4 hours Sweat Rate (4 órás verejtékezési ráta)				
WBGT	T_a, T_w, T_g	$26,6 < WBGT < 32,2$	Meleg környezet hőterhelésének kifejezésére kifejlesztett index, amely közvetlenül a gömb hőmérsékletből számítható.	Yaglou and Minard (1957) ISO 7243 (1989)
Wet Bulb Globe Temperature (nedves gömb hőmérséklet)				
RSI	T_a, VP	$0,1 < RSI < 0,5$	Megadja, hogy mennyi a valós verejtékezés ahhoz a maximálshoz képest, amit az aktuális környezetben lehetséges. (meleg nedves körülmények között)	Lee and Henschel (1963) Kyle (1992,1994)
Relative Strain index (relatív terhelési index)				
THI	T_a, T_w	$(-40) < THI < 30^\circ\text{C}$	Az ET egyik legjobb megközelítése a THI, amely az egyidejű száraz (T_a) és nedves (T_w) hőmérsékleti értékek lineáris átlagával számol.	Thom (1959) Clarke and Bach (1971)
Thermohigrometric Index (termohigrometrikus index)				
IHR	M, T_a, VP	$65 < IHR < 225$ szívverés/perc	Megadja, hogy bizonyos metabolikus ráta mellett bizonyos környezeti körülmények (meleg-nedves környezetben) milyen várható szívverési rátát eredményeznek, ezzel jellemezve a hőstressz mértékét.	Fuller and Brohua (1966) Givoni and Goldman (1973)
Heart Rate index (szívverési index)				
AT	T_a, T_d	$26 < AT < 54^\circ\text{C}$	Megmutatja, hogy adott légnedvesség mellett milyen hőmérséklet váltaná ki ugyanazt a diszkomfort érzést, mint az aktuális környezet hőmérsékleti és légnedvességi kombinációja.	Steadman (1979,1984)
Apparent Temperature (látszólagos hőmérséklet)				
H	T_a, VP	$25 < H < 50^\circ\text{C}$	AT típusú index, amely 20°C feletti léghőmérséklet esetén mutatja meg, hogy mennyire terhelő a légnedvesség a szervezet számára.	Masterton and Richardson (1979)
Humidex (fülledtségi index)				
WCI	T_a, v	$(-98) < WCI < 36^\circ\text{F}$	20°C alatti léghőmérséklet esetén annak a nyugalomban levő levegőnek a hőmérséklete, amely ugyanazt a hűtő hatást fejtené ki a szervezetre, mint az aktuális szélességgel és hőmérséklettel jellemezhető környezet.	Siple and Passel (1945) Steadman (1971)
Wind Chill Index (szél csípősségi index)				

2.3.2. Az emberi energia-egyenlegen alapuló modellek és racionális indexek

Az ismeretanyag és a számítógépes kapacitás nagyarányú fejlődése számos olyan új tényező bevonását, vagy régen is használt tényező sokkal pontosabb leírását tette lehetővé, ami a humán komfort értékeléseket precízebbé és fiziológiailag helytállóbbá tette. Pontos modellezhetővé váltak például a termoreguláció vasodilatációval és vasoconstrictióval összefüggő folyamatai, a perifériás véráramlás tényezői, illetve lehetővé vált a test hőtárolási tényezőjének (ΔS) akár perces időléptékben történő modellezése (Gagge et al., 1986; Höppe, 1999). Ennek köszönhetően a 70-es évektől számos energia-egyenlegen alapuló modell látott napvilágot (2.3.2. táblázat).

2.3.2. táblázat A legfontosabb energia-egyenlegen alapuló modellek és a belőlük származtatott komfort indexek (Fountain and Huizenga, 1997 nyomán)

Dátum	Szerző	Leírás	Index
1970	Fanger	Fanger comfort model	<i>PMV</i> <i>PPD</i>
1977	Stolwijk	25 szegmensű energia-egyensúlyi modell	<i>ET*</i>
1971,1986 1999	Gagge de Dear	Gagge 2 szegmensű energia-egyensúlyi modell Gagge m. kültéri viszonyokra továbbfejlesztve	<i>SET*</i> <i>OUT-SET*</i>
1979	Jendritzky	<i>KMM</i> : Klima Michel Modell (2 szegmensű modell Fanger alapján)	<i>PMV</i> <i>PT</i>
1987,1999	Höppe	<i>MEMI</i> : Munich Energy-balance Modell for Individuals (2 szegmensű steady-state m.)	<i>PET</i>
1996	Blazejczyk	<i>MENEX</i> : Man-ENvironment heat EXchange model	<i>PhS</i> , <i>STI</i> , <i>SP</i>
2001	Huizenga	16 szegmensű Stolwijk alapú modell	<i>EHT</i>
2001	Fiala	<i>IESD-Fiala</i> : sokszegmensű dinamikus modell	-

Egy részük a már meglévő empirikus indexek alapjait felhasználva állította elő annak „racionális párját”, mint például az *effektív hőmérséklet* index (*Effective Temperature: ET*) alapjain nyugvó ún. *új effektív hőmérséklet* (*new Effective Temperature: ET**) és az új standard effektív hőmérséklet (*new Standard Effective Temperature: SET**) indexek esetén (Gagge, 1972; Gagge et al., 1967, 1971, 1986). Más modellek kimenete viszont egy teljesen új komfort index lett (pl. Mayer and Höppe, 1987; Höppe, 1999).

A 2.3.3. táblázat a legfontosabb modelleket és a belőlük származtatott komfort indexeket foglalja össze időrendben, valamint azok alaptulajdonságait mutatja be a szakirodalmi forrás megjelölésével.

2.3.3. táblázat A legfontosabb energia-egyenlegen alapuló racionális indexek (pl. Fountain and Huizenga, 1997; Monteiro and Alucci, 2006a,b; Epstein and Moran, 2006 nyomán)

Index	Dimenzió	Definíció	Irodalom
<i>HSI</i>	$0 < HSI < 100$	Megadja, hogy mennyi az egyensúly eléréséhez szükséges evaporatív hővesztés aránya ahhoz a maximális evaporatív hővesztéshez képest, ami steady state körülmények és 35°C -os standard bőrhőmérséklet esetén lenne.	Belding and Hatch (1955) Givoni (1969)
Heat Stress Index (hőstressz index)			
<i>PMV</i>	$(-4) < PMV < 4$	8 fokozatú tapasztalati skálán adja meg a hőérzet jellegét, 0 körül komfortos értékkel. (VDI standard használja)	Fanger (1970) Jendritzky et al. (1979)
Predicted Mean Vote (prediktált hőérzet index)			
<i>PPD</i>	$0 < PPD < 100\%$	A PMV-ből levezethető index, amely megmutatja, hogy nagy számú embercsoportból hány % nem érzi magát komfortosan adott körülmények (adott PMV érték) mellett.	Fanger (1970) ISO 7730 (1984)
Predicted Percent Dissatisfied (elégedetlenségi arány)			
<i>PT</i>	$(-38) < PT < 39^{\circ}\text{C}$	Annak a standardizált környezetnek a hőmérséklete, amelyben ugyanaz a hő és/vagy hideg érzet, mint az aktuális környezetben.	Staiger et al. (1997) VDI 3787 (1998) Jendritzky et al. (2000)
Perceived Temperature (érezelt hőmérséklet)			
<i>ET*</i>	$10 < ET^* < 45^{\circ}\text{C}$	Annak a fiktív környezetnek a hőmérséklete, amely RH=50% mellett egy könnyű öltözetű embernél ugyanolyan mértékű és irányú hőáramlást (látens és érzékelhető) vált ki, mint az aktuális környezet. (ASHRAE standard használja)	Gagge et al. (1967) Gagge et al. (1971a) Gagge et al. (1986)
new Effective Temperature (új effektív hőmérséklet)			
<i>SET*</i>	$10 < SET^* < 45^{\circ}\text{C}$	Annak a fiktív környezetnek a hőmérséklete, amely RH=50%, $T_{mrt}=T_a$, $v=0,15\text{ms}^{-1}$ mellett egy standard öltözetű és aktivitású embernél ugyanolyan mértékű és irányú hőáramlást ugyanolyan bőrhőmérséklet és bőrnedvességi ráta mellett vált ki, mint az aktuális környezet. (ASHRAE standard használja)	Gagge (1972)
new Standard Effective Temperature (új standard effektív hőmérséklet)			
<i>OUT-SET*</i>	$10 < OUT-SET^* < 45^{\circ}\text{C}$	Ugyanaz, mint SET^* , csak kültéri összetett sugárzási viszonyokra vonatkoztatva.	Pickup and de Dear (1999) Spagnolo and de Dear (2003)
(new Standard Effective Temperature for outdoor) (kültéri új standard effektív hőmérséklet)			

2.3.3. táblázat (folyt.)

Index	Dimenzió	Definíció	Irodalom
PET	$4 < PET < 41^{\circ}\text{C}$	Annak a standardizált fiktív környezetnek a hőmérséklete, amelyben a test az energia-egyensúly megtartása érdekében ugyanolyan fiziológiai válaszreakciókat ad (bőrhőmérséklet, verejtékezési ráta), mint a valós környezet komplex viszonyai között. (VDI standard használja)	Mayer and Höppe (1987) Höppe (1999)
Physiologically Equivalent Temperature (fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet)			
DhR	$520 < DhR < 1040 \text{ gh}^{-1}$	Edzett és edzetlen szervezet esetén adja meg az test vízvesztésének veszélyességi fokozatait.	Błażejczyk (1994) Błażejczyk (2005)
Dehydration Risk			
PhS	$0 < PhS < 8$	Azokat az adaptációs folyamatokat fejezi ki, amelyek túlsúlyban vannak hideg ill. meleg környezetben. Elsősorban a konvektív és az evaporatív hőáramlás függvénye.	Błażejczyk (1994) Błażejczyk (2005)
Physiological Strain			
STI	$(-38) < STI < 70^{\circ}\text{C}$	Azt a szubjektív hőterhelés érzetet fejezi ki, amit a testet körülvevő környezet vált ki, mielőtt az adaptációs folyamatok beindulnának.	Błażejczyk (1994) Błażejczyk (2005)
Subjective Temperature Index			
PSI	$0 < PS < 10$	Meleg nedves körülmények között a mag hőmérséklet és a szívverési ráta változásával hozza összefüggésbe a hőterhelés mértékét.	Moran et al. (1998)
Physiological Strain Index			
NWCT	$9 < NWCT < -77^{\circ}\text{C}$	A WindChill index továbbfejlesztett energia-egyenlegen alapuló változata, amely a terhelést emberi fej modelljére alapozva számítja.	Dixon and Prior (1987) Bluestein and Osczevski (2002)
new Wind Chill Temperature (új szél csípősségi index)			
ASV	$(-2) < ASV < 2$	5 fokozatú skálán értékeli az aktuális környezet által kiváltott termikus komfortérzetet.	Nikolopoulou and Lykoudis (2006)
Actual Sensation Vote (aktuális hőérzet)			

Munkám során az Európában talán leggyakrabban alkalmazott indexeket a *PMV* és a *PET* indexeket használtam fel, ezért a részletesebb elemzésnél elsősorban ezekre térek ki.

A Fanger (1970) által publikált modell a legismertebbek egyike, minden későbbi modellalkotásra nagy hatást gyakorolt. A nagy létszámú embercsoporton (kb. 1300 fő), változatlan termikus környezetben (ún. klímakamrában), sokféle konstans metabolikus ráta és ruházati kombináció mellett végzett kísérletek végeredményeként egy olyan ún. steady state modell született, amely teljes formájában minden termofiziológiailag relevánsnak tekintett emberi tényezőt (átlagos bőrhőmérséklet, verejtékezés ráta), együtt a meteorológiai tényezőkkel (T_a , T_{mrt} , VP , v) és a ruházat szigetelő tulajdonságaival a belső hőtermelés függvényében ad meg. A modellből empirikus regressziós analízissel számítható az ún. *Predicted Mean Vote* (*PMV*) index. Az index voltaképpen átmenet az empirikus és a racionális indexek között, mert a test energia-egyenlegén alapul, de empirikus elemeket is tartalmaz. A *PMV* egy 7 fokozatú (később 9-re bővített) tapasztalati skálán adja meg a termikus hőérzet mértékét (2.3.4. táblázat). Amennyiben az index értéke 0 körüli (-0,5 és +0,5 közötti), a hőérzet komfortos, az ettől felfelé és lefelé való eltérés a hő- illetve a hideg stressz emelkedését jelenti.

A modellek kezdetben a testet 2 koncentrikus hengerként értelmezték (ezek az ún. two-node, azaz kétszegmensű modellek), amelyben a belső henger a test magját, a külső pedig a testköpenyt szimbolizálja. A hőáramlási folyamatok ennek megfelelően a testmag és a testköpeny, illetve a köpeny és a külvilág (a ruházat szigetelő hatását is figyelembe véve) között zajlanak. (Ilyen kétszegmensű, szintén sokat idézett modell a Gagge et al. (1971b) által kidolgozott modell.) Később az energiaáramlási viszonyok pontosabb leírása érdekében finomodtak a modellek, és ún. multi-node, azaz sokszegmensű modellek születtek (pl. Stolwijk and Hardy, 1977; Fiala et al., 2001).

Az utóbbi évtizedekben a modellek abban is jelentős fejlődést mutatnak, hogy a komfort fogalmát kültéri körülményekre is kiterjesztik. Ezzel szükségessé vált az összetett hosszú- és rövidhullámú sugárzási tényezők bevonása a modellalkotásba, ami rendkívül bonyolulttá tette a modellező dolgát, hiszen kültéren e sugárzási faktorok mind időben, mind pedig térben nagyon változóak.

E folyamat részeként Jendritzky et al. (1979) a Fanger modell továbbgondolásával fejlesztették ki az ún. *Klima Michel Modell*-t (*KMM*). Az ebből kikerülő indexek (a korábbiakban említett *PMV*, illetve az ún. *Perceived Temperature* – *PT* „érzékellet hőmérséklet”) már a komplex kültéri környezet komfort viszonyainak jellemzésére is használhatók (Jendritzky et al., 1990; Staiger et al., 1997). Ehhez hasonlóan az *OUT_SET**, illetve az abból származtatott *SET** index is a Gagge modell továbbfejlesztésének tekinthető (Pickup and de Dear, 1999).

Ezek mellett egy teljesen új, kifejezetten kültéri körülményekre kifejlesztett index is napvilágot látott a 80-as években, az ún. *MEMI* (*Munich Energy Model for Individuals*) modell kimeneti indexeként: a *PET* (*Physiologically Equivalent Temperature - fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet*) (Höppe, 1984; Mayer and Höppe, 1987; Höppe, 1999). A *MEMI* modell ugyanazt a megközelítést használja, mint a Gagge-féle modell. Az emberi szervezet legfontosabb termoregulációs reflexfolyamatainak a verejtékezést, a testfelszíni erek összehúzó-dását és kitágulását, valamint a didergéssel történő hőtermelést tekinti. Ez a modell is elkülöníti a testmagot, a bőrfelszíni régiót és a ruházat felületét, mint a hőáramlás legfontosabb aktív felszíneit. Sőt azt is figyelembe veszi, hogy a bőrfelszín hány százaléka fedett ruházattal, mennyi fedetlen, és ezekkel külön számol. Így a *PET* – definíciója szerint – annak a standardizált fiktív környezetnek (ahol $T_{mrt} = T_a$, $VP = 12\text{hPa}$, $v = 0,1\text{ms}^{-1}$) a hőmérséklete, amelyben a test az energia-egyensúly megtartása érdekében ugyanolyan fiziológiai válaszreakciókat ad (bőrhőmérséklet, verejtékezési ráta), mint a valós környezet komplex viszonyai között. Az index a komfortérzet (illetve a fiziológiai stressz) mértékét egy standardizált kísérleti alanyra adja meg, aki 35 éves, 175 cm magas, 75 kg-os férfi (alap-metabolizmusa kb. 80 W + aktív-metabolizmusa kb. 80 W \approx 1,5 met), ruházata 0,9 clo.

2.3.4. táblázat A *PMV* és *PET* index-értékek egymásnak megfelelő küszöbértékei, az emberi hőérzet és fiziológiai stressz szint alapján (standard feltételek mellett: belső hőtermelés = 80W, ruházat hőszigetelő képessége = 0,9 clo) (Matzarakis and Mayer, 1996 nyomán)

PET (°C)	4		8	13	18	23	29	35	41	
PMV	- 4		- 3	- 2	- 1	0	1	2	3	4
hőérzet	nagyon hideg	hideg	hűvös	enyhén hűvös	neutrális komfortos	enyhén meleg	meleg	forró	nagyon forró	
fiziológiai terhelés szintje	extrém	erős	mérsékelt	enyhe	nincs	enyhe	mérsékelt	erős	extrém	
	hideg stressz				stressz	hőstressz				

Matzarakis and Mayer (1996) a *PET* indexhez tartozó standard paraméterekre kidolgozta a *PMV* index hőérzet- és termikus stressz-szintekre vonatkozó határértékeinek megfeleltetését, így az Európában leggyakrabban használt két index értékei (a megadott standard körülmények között) összevethetővé váltak (2.3.4. táblázat).

A bemutatott indexek alkalmazásainak, az alkalmazhatóságuk korlátainak, és az indexek összehasonlításának rendkívül kiterjedt szakirodalma van (pl. Matzarakis et al., 1999a; Gaitania et al., 2007; Shukor et al., 2007; Andrade and Alcoforado, 2008; Monteiro and Alucci, 2008). Általánosságban elmondható, hogy a *PMV*, *PET* és *PT* indexek leginkább az

európaihoz hasonló klimatikus viszonyok között alkalmazhatók sikerrel, míg például a *WBGT* és *H* indexek extrém meleg és nedves, a *NWCT* extrém hideg és szeles körülmények között adnak megbízható közelítést a testet érő termikus stressz mértékére. Ennek megfelelően ez utóbbi indexek elterjedtebbek az amerikai és az ausztrál kontinensen.

2.4. A humán bioklimatológia és a városklimatológia kapcsolatrendszere

A humán bioklimatológiát az alkalmazott klimatológia területén belül mindig is szoros kapcsolat fűzte a városklimatológiához. Ma a Föld lakosságának több mint ötven százaléka (mintegy 3,3 milliárd ember) városokban él és ez a szám az ENSZ népesedési szervezete, az UNFPA 2007-es jelentése szerint 2030-ig ötmilliárdra emelkedik (UNFPA, 2007). Azaz egyre több ember van kitéve a városok – a természetes területekhez képest jelentősen megváltozott – környezeti feltételeinek. A városokban a felszín anyaga és szerkezete, ennek következtében anyag- (pl. víz) és energia áramlási folyamatai, valamint a légkör összetétele is jelentősen módosult a természetes területekéhez viszonyítva (Mayer, 1993; Mayer, 1996).

Ebből a szempontból a 4 legfontosabb okozati tényező az:

- *összetett felszíni geometria*

A természetes felszínt épületek, utak, járdák, olykor fás és lágyszárú növényzet sűrű szövedéke borítja nagyon változatos vertikális és horizontális kiterjedésben, sokszorosára növelve ezzel az aktív felszín kiterjedését.

- *eltérő anyagminőség*

A mesterséges tereptárgyak anyagi-fizikai tulajdonságai (vízáteresztő képesség, albedó, hőkapacitás, hővezető képesség, stb.) nagyban eltérnek a természetes felszínek anyagaihoz (pl. talaj) képest.

- *antropogén légszennyezés*

Az emberi tevékenység (közlekedés, ipari folyamatok, lakossági fűtés) jelentős mennyiségű szennyező anyagot bocsát ki a légkörbe gáz, folyadék és szilárd halmazállapotban egyaránt.

- *antropogén hőszennyezés*

Az imént említett emberi tevékenységek által jelentős lehet a környezetbe kibocsátott hőmennyiség is. (Ez a lokális klímamódosulás szempontjából a városokban elsősorban télen nagyobb jelentőségű.)

A következőkben a humán bioklimatológiai szempontoknak megfelelően azokat a jelenségeket veszem sorra, amik a városokban a termikus komplex módosulását okozzák, megvál-

toztatva ezzel azt a termikus miliőt, amihez az ott élők szervezetének a korábban tárgyalt mechanizmusok révén alkalmazkodniuk kell. (A légszennyezés esetében tehát eltekintek annak egészségre gyakorolt hatásainak tárgyalásától.)

A 2.4.1. táblázat a városi környezet módosulása és a különböző klímaparaméterek megváltozása közötti összefüggéseket mutatja be abból a szemszögből, hogy ezeknek a jelenségeknek mi a humán bioklimatológiai hatásuk. Az általános megállapítások azonban a tényezők rendkívül összetett volta miatt csak közepes földrajzi szélességek, mérsékelt éves csapadékkal jellemezhető (tehát a közép-európaihoz hasonló klimatikus adottságokkal rendelkező) területeire tekinthetők érvényesnek.

2.4.1. táblázat A városi környezet legfontosabb módosulásai a természetes környezethez képest, ezek városklimatikus vonzata és humán bioklimatológiai hatásai (rh: rövidhullámú, hh: hosszúhullámú, *SVF*: égbolt láthatóság, *H/W*: utca szélesség és átlagos épület magasság arány)

	Összetett felszíni geometria	Eltérő anyagminőség	Antropogén légszennyezés	Antropogén hőszennyezés	Város kívül városon változás	Humán bioklimatikus hatás
sugárzás	-nő a felszín: többszörös visszaverődés (rh, hh)	-kisebb albedó: rh sug. visszaverődése csökken	-gyengül a beérkező rh sugárzás	-az érzékelhető hőszugárzás megnő	<i>a nettó sugárzási mérleg nem változik számottevően</i>	<u>nappal:</u> T_{mrt} kiszámításában az F_i összetetté válik <u>éjjel:</u> a hh komponens magasabb
hőmérséklet	-svf csökken: hh kisugárzás csökken	-nagyobb hővezető képesség -nagyobb hőkapacitás: nagyobb érzékelhető hőraktározás	-nő a hh kisugárzás elnyelése és visszasugárzása	- főleg télen van nagyobb jelentősége	<i>nyáron nappal akár alacsonyabb is lehet főleg éjjel (télen egész nap) magasabb (UHI)</i>	<u>nappal-éjjel:</u> az érzékelhető hőáramlás a hőmérsékleti gradiensnek megfelelően változik
légnedvesség	-mesterséges felszín aránya nő: kevés (szabad) párologtató felszín	-sokkal kisebb felszíni vízáteresztés -nagy elfolyás	-kondenzációs magvak mennyisége nő: nőhet a köd és felhőképződés esélye -jelentős vízpára is felszabadulhat antr. tevékenység során	–	<i>nagyon változatos a térbeli és időbeli alakulása</i>	<u>nappal:</u> nagyon változékonny <u>éjjel:</u> tcsökkenti
szél	-nagyobb érdesség: jelentősen csökkenti $v-t$ - <i>H/W</i> arány növekedésével nő a turbulenciák esélye	-anyagminőségből adódó érdesség növekedés: csökkenti $v-t$	–	–	<i>ált. csökken, de éjjel gyenge légáramlás esetén kismértékben nőhet</i>	<u>nappal:</u> a konvektív hőáramlási folyamatok jelentősen lelassulnak <u>éjjel:</u> az <i>UHI</i> generálta v növekedés nyáron pozitív hatású lehet a hőérzetre

Sugárzás

Láthattuk, hogy az emberi energia-egyenleg szempontjából az egyik legfontosabb tényező a testet körülvevő környezet hosszú- és rövid hullámú sugárzási viszonyainak alakulása. A városban a beérkező rövidhullámú sugárzást több tényező is csökkenti, leginkább a szennyezett városi légréteg, ami a napmagasságtól függően, és hullámhossz tartományonként különböző mértékben szűr. Ezzel ellentétes hatást fejt ki (azaz a rövidhullámú kisugárzást csökkenti), hogy a városban az albedó általában 0,05–0,10-del alacsonyabb, mint a közepes szélességek vidéki területein (Oke, 1987).

A városban a felszín borító tereptárgyak (utak, épületek, burkolatok, növényzet) összetett felszíni geometriát hoznak létre. Ennek köszönhetően a beérkező és a kifelé irányuló sugárzás is többszörös visszaverődést ill. elnyelődést szenved, ami igen bonyolulttá teszi a sugárzási viszonyok értékelését. Ez humán bioklimatológiai megközelítésben voltaképpen a 2.2.3. fejezetben tárgyalt ún. szögfaktort (F_i) érinti, ami a városi szabadtéri körülmények között jelentősen megnehezíti a T_{mrt} kiszámítását (Jendritzky and Nübler, 1981; Matzarakis et al., 2007).

A felszíni geometriát leíró legfontosabb jellemzők az ún. égboltláthatósági index (*SVF* - *sky view factor*), a H/W arány (H az utcában lévő épületek átlagos magassága, W az utca átlagos szélessége), illetve az utca tájolása (Ali-Toudert, 2005). Ezen tényezők együttesen nappal jelentősen befolyásolják azt, hogy a testet az aktuális környezetben éri-e direkt sugárzás (ami a magyarországihoz hasonló klimatikus viszonyok között az egyik legfontosabb termikus komfortot befolyásoló faktor). Éjjel pedig a hosszúhullámú kisugárzás csapdába ejtése révén hozzájárulnak a városi hőmérsékleti többlet kialakulásához.

Hőmérséklet

Az elmúlt évtizedek nemzetközi és hazai városklíma kutatásainak talán legtöbbet kutatott témaköre a részben az előbb vázolt sugárzási viszonyok következtében kialakuló városi hősziget (*UHI* - *urban heat island*) jelensége (pl. Arnfield, 2003; Oke, 2006; Unger, 2006). Eszerint a városokban a természetes felszínekhez képest gyakorta hőmérsékleti többlet figyelhető meg, amelynek kifejlődése időben és térben igen változatos. Lokális léptékű kifejlődése akkor a legnagyobb intenzitású, ha a makro léptékű időjárási feltételek kedvezőek: anticiklonális, derült, szélcsendes időben. Az *UHI* intenzitása jellegzetes napi menetet mutat, a késő délutáni óráktól növekedve naplemente után 3-5 órával éri el a maximális értéket (Oke, 1982). A legmagasabb értékek tehát éjjel mutathatók ki, ami átlagosan néhány foknak adódik, ám rövidebb időtávon, „ideális” körülmények között akár 8-12 °C is lehet (Klysik and Fortuniak, 1999). Évszakos eloszlására jellemző, hogy tavasszal és nyáron a nappali (főleg a

dél körüli) órákban csekély (sőt esetenként a külterület a melegebb), míg ősszel és télen egész nap megfigyelhető. Intenzitása az év során akkor a legnagyobb, amikor a besugárzás viszonylag nagy, és tiszta szélcsendes időjárás uralkodik. Erre közép-európai viszonylatban augusztus-szeptemberben a legnagyobb az esély (Unger, 1996).

A kutatások kimutatták, hogy a hősziget intenzitása növekszik például a városok méretének (lakosság számának) és az imént említett *H/W arány*nak növekedésével illetve az *SVF* csökkenésével (pl. Park, 1987; Unger, 2004; Unger, 2006). Térbeli eloszlása pedig szoros kapcsolatot mutat a beépítettség mértékével (Balázs et al., 2009).

Ennek a hőmérsékleti többletnek humán bioklimatológiai szempontból a városban lakók komfortérzetére nézve nyáron inkább negatív, míg télen pozitív hatásai vannak (Mayer and Matzarakis, 1997; Mayer et al., 2008). A magasabb környezeti hőmérséklet hatására változik a hőmérsékleti gradiens, ami a bőrfelszín és a környezet közötti érzékelhető hőáramlást meghatározza, ennek megfelelően változik az emberi test energia-egyenlege is.

Légnedvesség

A város légnedvességre gyakorolt módosító hatása talán a legkevésbé kutatott faktor a városklimatológiában. Még kevésbé ennek humán bioklimatológiai hatása, noha fiziológiai és a komfort érzetre kifejtett hatása miatt nagyobb figyelmet érdemelne (Berglund, 1997). Ennek részben az lehet az oka, hogy a folyamat rendkívül összetett, nagyban függ a nagyobb léptékű éghajlati és az aktuális időjárási viszonyoktól, a város és környezete területhasználati jellegzetességeitől (Unger, 1999a). A városi felszínt borító mesterséges burkolatok (beton, aszfalt, különböző építő anyagok) nagyrészt vízátnemeresztő tulajdonságúak, ezáltal a csapadék csekély leszivárgása és ezzel egyidejű erős elfolyása jelentős csökkenést jelent a város vízmérleg bevételei oldalán a természetes területekhez képest (Unger és Gulyás, 2000). Ez, a kisebb kiterjedésű szabad talajfelszín, valamint a redukált növényzet csökkenti az evapotranspirációt. Ezzel ellentétes hatást fejthet ki a városi hősziget, ami a felszíni víz intenzívebb elpárolgását okozza, vagy az antropogén tevékenység okozta vízgőzkibocsátás. Attól függően, hogy melyik hatás érvényesül jobban, a városi levegő légnedvessége rendkívül változatos tér- és időbeli eloszlást mutathat (Mayer et al., 2003). A relatív nedvességet vizsgálva a hőszigettel összefüggésben éjjel gyakran megfigyelhető egy, a hősziget intenzitásához hasonló eloszlású negatív eltérés a vidéki területekhez képest (Sümeghy et al., 2006a,b). A 2.2.3. fejezetben elemzetteknek megfelelően fiziológiai szempontból a látens hőáramlási folyamatokra befolyást gyakorló telítettségi hiány a legmeghatározóbb, így minden erre ható városi módosító tényező egyben befolyást gyakorol a városban élők komfortérzetére is (Mayer et al., 2003).

Szél

A megváltozott felszíni geometria és az ezzel járó erős tagoltság következtében fellépő nagyobb felszínközeli súrlódás miatt a városokban a szélesebesség jelentősen gyengülhet, ezzel együtt növekszik a szélcsendes esetek száma (Landsberg, 1981).

A szélesebesség csökkenésének mértéke függ a városon kívül mért szél erősségétől. Alacsony szélesebesség vagy szélcsend, mint háttérfeltétel esetén meg is fordulhat a helyzet: a város felett enyhe szélesebesség növekedés mutatkozik. Ez azzal magyarázható, hogy erőteljes hősziget intenzitás a város felett kialakuló fokozott feláramlást hoz létre, ezzel egy lokális cirkulációt indít el a város és a külterület között, ami a felszínközeli szélesebesség kismértékű növekedését vonhatja maga után (Lee, 1979; Probáld, 1981). Nagyobb szélesebességek esetén viszont az érdekesebb városi felszín által okozott súrlódás szerepe válik meghatározóvá (Hupfer und Kuttler, 2006). (Fontos megjegyezni, hogy a városi áramlási viszonyoknak igen széles körű szakirodalma van, amely rávilágít, hogy az érdekességi elemek vertikális és horizontális mérete, illetve elrendezése nagyban befolyásolhatja mikroklimatikus léptékben a kialakult turbulenciákat, ezáltal a szélesebességet (pl. Grimmond and Oke, 1999)).

2.4.2. táblázat A városklíma humán bioklimatológiai szempontból releváns paramétereinek megváltozása egy közepes földrajzi szélességen fekvő, kb. 1 millió lakosú nagyvárosban a városon kívüli területhez képest (a közölt értékek külön megjegyzés hiányában a nyári időszakra vonatkoznak és az adatok esetenként széles skálán mozoghatnak, ezért tájékoztató jellegűek) (Oke, 1997 után egyszerűsítve)

Tényező	Változás	Nagyságrendi változás vagy megjegyzés
globálisugárzás	kevesebb	1-25%
infravörös bevétele	nagyobb	5-40%
konvektív hőáramlás	nagyobb	kb. 50%
hőtárolás	nagyobb	kb. 200%
lég hőmérséklet	magasabb	1-3°C több éves átlagban (órás átlagban akár 12°C is)
lég nedvesség (VP)	alacsonyabb magasabb	nyáron nappal nyáron éjszaka és télen egész nap
párolgás	kisebb	kb. 50%
szélesebesség	csökken növekszik	5-30% (10 m magasságban mért) erős áramlásnál a hősziget hatására kialakuló gyenge áramlásnál
turbulencia-intenzitás	nagyobb	10-50%

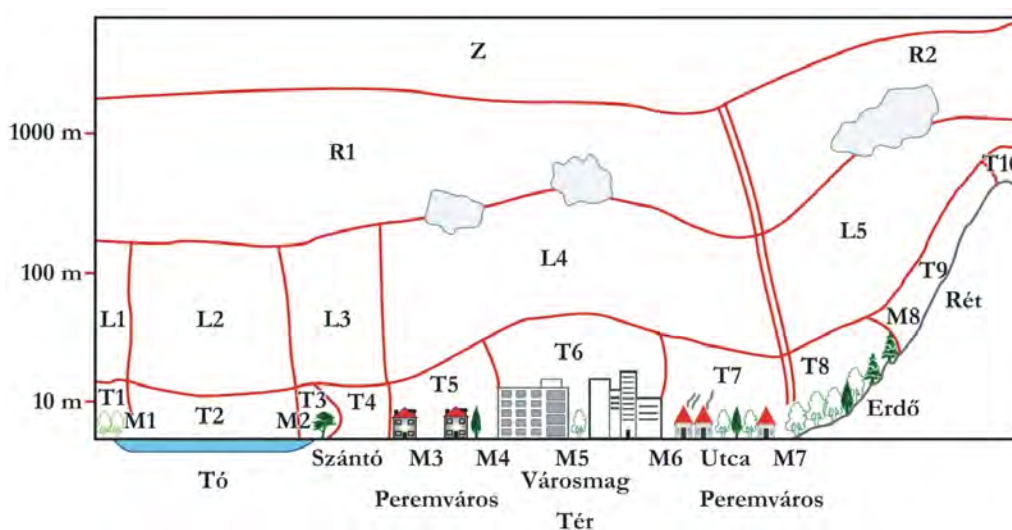
A 2.2.3. fejezetben tárgyaltaiból kitűnik, hogy a szélsőbesség csökkenése a konvektív (érzékelt és látens) hőszállítási folyamatok lassulása miatt jelentős hatással bír az emberi komfortérzetre, ezáltal a városokban általában tapasztalható csökkenés nyáron egyértelműen negatív, míg télen pozitív hatásának tekinthető.

A 2.4.2. táblázat összefoglalásként számszerűsíti az imént részletezett változásokat, kiemelve a humán bioklimatológiai szempontból leginkább releváns tényezőket.

Léptékek

A fentebb említett jelenségek különböző idő- és térbeli léptékekben fejtik ki a hatásukat (Probáld, 1974). A mikro léptékű jelenségek pontról pontra, percről percre nagy változékonyságot mutatnak, rövid életűek és jellegzetes kifejlődésük egy adott időjárási helyzethez kötődik (pl. egy utcakanyon két oldalának nagyon eltérő hőstressz viszonyai). A lokális- és mezo léptékűek néhány órás vagy napos periodicitással (pl. az *UHI* intenzitás változásának periodicitása), nagyobb térbeli kiterjedésben (mint pl. utcák, terek, parkok lokális jelensége) gyakorolnak hatást a városban élőkre. A makro léptékű jelenségek pedig hosszabb időtávon és nagy térbeli dimenzióban (a topografikus és orografikus jellemzőkkel együtt) hatva adják a város klimatikus háttérfeltételeit. A különböző klímák térbeli egymásra épülését mutatja be a 2.4.2. ábra.

Kutatásaim során a különböző léptékekhez kötődő jelenségek és törvényszerűségek feltárására törekszem, láttatva, hogy olykor a nagyobb léptékű jelenségek nem vezethetők le egyértelműen a kisebb léptékű jellemzők egyszerű „összegeként”, mivel azok sajátos, olykor csak az adott nagyobb léptéken létező jelenségek.



2.4.2. ábra Az éghajlati jelenségek térbeli dimenziói: Z = zonális (makro) klíma, R = regionális (mezo) klíma, L = lokális klíma, T = topoklíma, M = mikroklíma (Yoshino, 1975)

A léptékek értelmezési tartománya viszonylag széles átfedésben van (a lokális jelenségek legnagyobb „mérettartománya” egyben a mezo lépték alsó határát is jelentheti), ezért a dolgozatomban e két megjelölést felváltva, de körülbelül azonos értelemben használom a városi bioklimatikus hatások elemzésénél (Unger és Sümeghy, 2002) (5.2. fejezet).

2.5. Tendenciák a külföldi és a hazai humán bioklíma kutatásban

Napjainkra a humán bioklimatológia érdeklődési köre némiképp átalakult. A XXI. század megváltozott természeti és társadalmi kihívásai (valószínűsíthető globális felmelegedési tendencia, fokozott környezetszennyezés, túlzott urbanizálódás, globalizáció) a humán bioklimatológia kutatási irányvonalait is determinálják. Bizonyos irányvonalak még nagyobb hangsúlyt kapnak, vagy éppen a megváltozott körülmények új feladatok elé állítják a tudományágat.

Ahogy az elmúlt évtizedekben, ma is élénk az érdeklődés a hazai és nemzetközi orvometeorológiai kutatásokban az időjárási tényezők és az emberi megbetegedések, illetve a halálozási mutatók kapcsolata iránt (pl. Conti et al., 2005; Kriszbacher et al., 2007a,b; Golden et al., 2008). A klímaváltozás lehetséges következményeként írják le az extrém időjárási események gyakoriságának emelkedését mind globálisan, mind pedig a Kárpát-medencében (Bartholy et al., 2008). Ennek kapcsán az egyre gyakoribbá váló hőhullámok szervezetre gyakorolt hatásainak vizsgálata nagyon intenzíven kutatott témakör manapság (pl. Páldy et al., 2005; Kyseli and Kříž, 2008; Vaneckova et al., 2008; Gosling et al., 2009; Katavoutas et al., 2009). A modern terminológia szerint az *aktínikus- és levegőhigiénés komplexek* (2.2. fejezet) emberi szervezetre gyakorolt hatásainak vizsgálata szintén központi témája a humán bioklimatológiának (pl. Tombácz et al., 2007, Makra et al., 2008). Mivel ez a terület nem kötik szorosan kutatásaim témájához, ezért részletezésétől eltekintek.

A humán bioklimatológiának a (a dolgozat témáját is adó) termikus komfortérzetet vizsgáló része is átalakult valamelyest napjainkra. A korábbi fejezetekben tárgyalt „stabil” fiziológiai alapok megteremtése és a kültéri körülmények mind alaposabb elemzése után manapság intenzíven keresi a kapcsolatot a társtudományokkal és a mindennapi gyakorlattal. Ennek megfelelően gyakorta sok ország sokféle szakemberének együttműködésével nagy nemzetközi projektek adják a keretet a kutatásokhoz.

2001 és 2004 között 6 európai ország részvételével (Görögország-projektvezető, Dánia, Németország, Svájc, Olaszország, Egyesült Királyság) zajlott az ún. *RUROS (Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces)* projekt, ami az EU5-ös keretprogram „Energia, Környezet és Fenntartható Fejlődés” alprogramjának részét képezte. A projekt – ez idáig példa nélkül álló – széleskörű összefogáson és az egyes országokban azonos szempontrendszer és mód-

szertan szerint kivitelezett terepi felméréseken alapult (Nikolopoulou and Lykoudis, 2006). A vizsgálatok nem csak a városi környezet szabadtéri termikus komfort viszonyainak jobb megismerésére, térképezésére és modellezésére irányultak, hanem olyan eddig nem, vagy kevésbé érintett szegmenseket is vizsgáltak, mint a városi terek vizuális vagy akusztikus komfortja (Compagnon and Coyette-Pernot, 2005; Yang and Kang, 2005; Kang et al., 2005).

Az elméleti háttér és a gyakorlati alkalmazás kapcsolatát erősíti a klímaváltozás városi népességre gyakorolt várható hatásainak előrejelzésére és a kedvezőtlen hatások mérséklésére alakított németországi kutatási program, a 2006 és 2009 között folyó ún. *KLIMES* („*Planerische Strategien und städtebauliche Konzepte zur Reduzierung der Auswirkungen von klimatischen Extremen auf Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen in Städten*“) projekt is. A projekt kutatási programjában nagy hangsúlyt kap a hőhullámok városi környezetben tapasztalt hatásainak vizsgálata. Célul tűzi ki a humán bioklimatológiai szempontok bevezetését a várostervezési stratégiák kidolgozásánál, amely lehetővé teszi a komfort viszonyok optimalizálását olyan módon, hogy az ne járjon a környezet túlzott megterhelésével (Katzschner et al., 2007; Mayer et al., 2008).

A humán komfort kutatások egyik lehetséges továbbfejlődési irányát képviseli a 2005-ben útjára indult ún. *COST Action 730* („*Cooperation in Science and Technical Development*“) nemzetközi projekt. A program – *ISB* által is támogatott – célkitűzése, hogy egy új, bármely klimatikus területen, az év bármely szakában, mindhárom értelmezési skálán (mikro-, mezo- és makro) jól használható komfort index (az ún. *UTCI - Universal Thermal Climate Index*) kifejlesztését támogassa. A már meglévő indexek részletes elemzése (2.3.1. és 2.3.2. fejezet) is rávilágított, hogy minden index alkalmazhatósága valamilyen tényezőre nézve korlátozott, ezért csak bizonyos feltételek teljesülése mellett jellemzi megfelelően az adott környezet termikus komfort viszonyait. Ennek áthidalására szeretné ez a – 11 ország kutatóit tömörítő – nemzetközi kezdeményezés kifejleszteni az univerzálisan használható komfort indexet (Jendritzky et al., 2008).

Egy másik út a komfort viszonyok kifejezésének tökéletesítésére a szubjektív emberi tényezők eddigénél hangsúlyozottabb figyelembe vétele. Az objektív fizikai és fiziológiai folyamatokon kívül ugyanis a tényleges hőérzet kialakulásában a pszichológiai tényezőknek is nagy szerepe van, ami az utóbbi évekig meglehetősen mellőzött szempont volt a humán komfort vizsgálatokban. A szubjektív tényezők (múltbeli tapasztalatok, elvárások, attitűd, pillanatnyi hangulati állapot, az expozíció ideje, stb.) valószínűleg az eddig feltételezetttnél nagyobb jelentőséggel bírnak abban, hogy egy adott kültéri környezetben hogyan érzi magát az ember (Nikolopoulou and Streemers, 2003; Knez and Thorsson, 2006). A módszerek kidolgozásához és standardizálásához a tanszékünkön (Magyarországon eddig egyedülként) folyó

ilyen jellegű vizsgálatok is hozzájárulnak (Kántor et al., 2007; Unger és Kántor, 2007; Kántor et al., 2009).

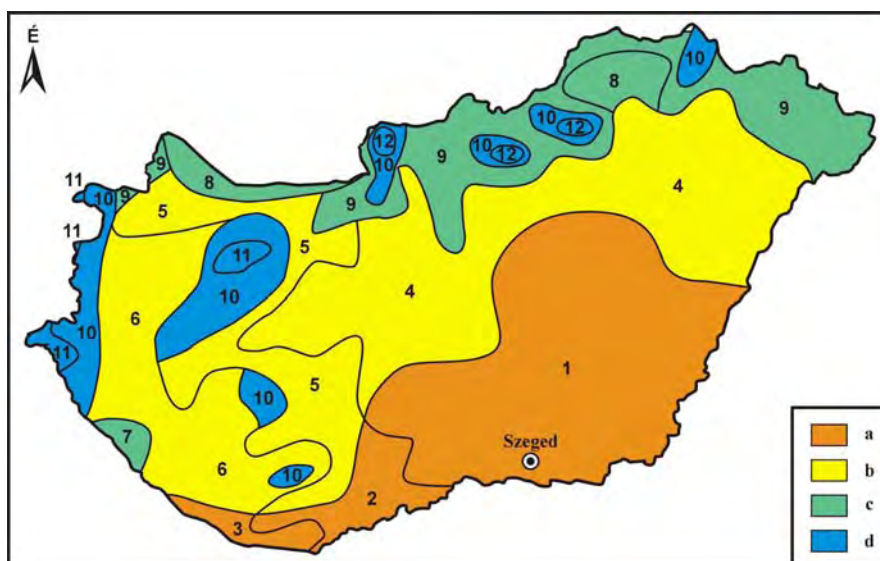
A globalizáció számos hatása közül a turizmus soha nem látott fejlődése volt tapasztalható az elmúlt évtizedekben, ami ma az egyik legjelentősebb terciér szektorbeli ágazattá nőtte ki magát. Tervezésében elengedhetetlen a humán bioklimatológiai szempontok szem előtt tartása, így kézenfekvő a tudományterület és ezen alkalmazási terület közötti kapcsolat szorosabbá tétele. Nemzetközi szinten az *ISB* „Klíma, Turizmus és Rekreáció” albizottsága (*ISB Commission on Climate, Tourism and Recreation*) koordinálja a témához kapcsolódó szerteágazó munkát (pl. Blazejczyk and Matzarakis, 2008; Lin and Matzarakis, 2008; Scott et al., 2009). Ez a turisztikai irányvonal a korábbi és a napjainkban folyó hazai kutatásokban is fontos helyet kap (Béll és Takács, 1974). Modern humán bioklimatikus indexelemzéseken nyugvó, komplex turisztikai klimatikus vizsgálat zajlik például a Balaton, mint kiemelt turisztikai régió területén (Holicska 2008; Németh et al., 2007, 2008).

3. Szeged, mint a vizsgált terület

3.1. Szeged legfőbb földrajzi, éghajlati és városszerkezeti jellemzői

Szeged az északi szélesség 46° és a keleti hosszúság 20° körül helyezkedik el. Magyarország kistáj kataszteri beosztása szerint az Alsó-Tiszavidék kistáján, hazánk legalacsonyabban fekvő síksági területén fekszik. Legalacsonyabban és legmagasabban fekvő pontjai (78 és 85 m) között mindössze 7 m a szintkülönbség (Marosi és Somogyi, 1990).

A nagyléptékű éghajlati felosztást tekintve Magyarország túlnyomó része a *Köppen*-féle *Cf* (meleg-mérsékelt éghajlat, egyenletes évi csapadékeloszlással), vagy a *Trewartha*-féle felosztás szerint *D.I* (kontinentális éghajlat, hosszabb meleg évszakkal) klímaövezetbe tartozik. Az országon belüli finomabb területei különbségek leírására a módosított, elsősorban ariditási viszonyok figyelembe vételén alapuló beosztást használjuk. E 12 kategóriát tartalmazó beosztás alapján Szegedre és bővebb környezetére a meleg – száraz klíma jellemző (3.1.1. ábra), vagyis a nyár meleg, aszályra hajlamos, bőséges a napfénytartam, aránylag kicsi a páratartalom és a felhőzet, télen kevés a hócsapadék, emiatt rövid ideig tartó és általában vékony a hótakaró (Péczeley, 1984).

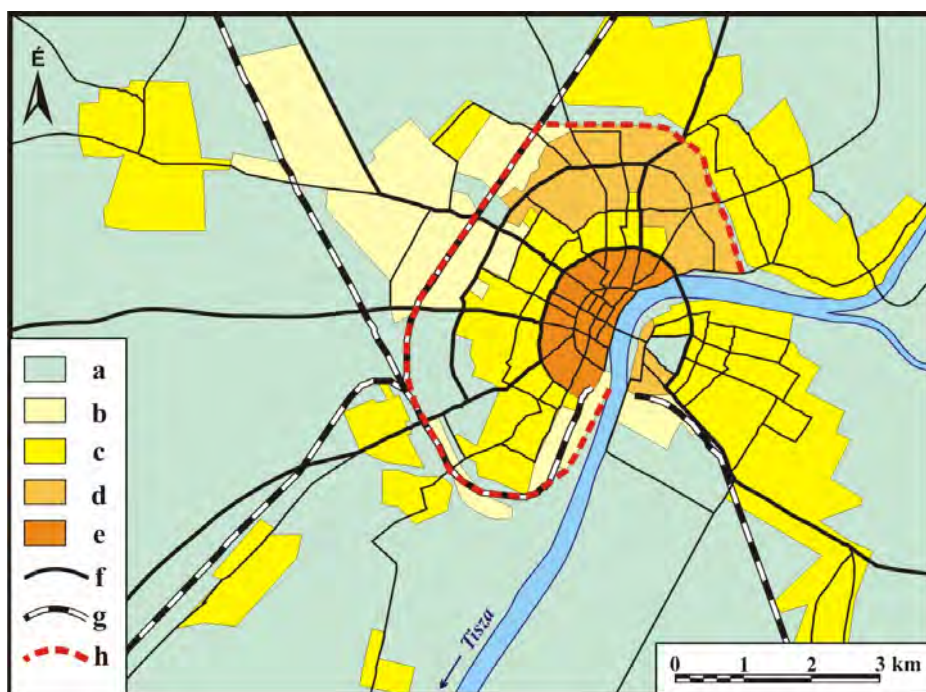


3.1.1. ábra Magyarország éghajlati körzetei: (a) meleg: (1) meleg – száraz, (2) meleg – mérsékeltlen száraz, (3) meleg – mérsékeltlen nedves; (b) mérsékeltlen meleg: (4) mérsékeltlen meleg – száraz, (5) mérsékeltlen meleg – mérsékeltlen száraz, (6) mérsékeltlen meleg – mérsékeltlen nedves, (7) mérsékeltlen meleg – nedves; (c) mérsékeltlen hűvös: (8) mérsékeltlen hűvös – nedves, (9) mérsékeltlen hűvös – száraz, (10) mérsékeltlen hűvös – mérsékeltlen száraz, (11) mérsékeltlen hűvös – mérsékeltlen nedves; (d) hűvös: (12) hűvös – nedves (Péczeley, 1979)

Az átlagos évi középhőmérséklet az 1971-2000 közötti időszak alapján 10,5 °C (a vegetációs időszaké 18-19°C, a júliusi középhőmérséklet 21,8 °C, a januári pedig 0,8°C), a szélső-

besség $3,4 \text{ ms}^{-1}$, az uralkodó szélirány É-ÉK-i, a csapadékmennyiség 490 mm, a relatív nedvesség kb. 71 %, a párányomás 9,8 hPa. A napsütéses órák száma 1977, az évi átlagos globálisugárzás pedig általában nem kevesebb 4400 MJm^{-2} -nél (Unger, 1997a; OMSZ, 2008).

Szeged a Dél-alföldi régió legnagyobb városa, közigazgatási területe hivatalosan 281 km^2 (ebből azonban az igazán városi és elővárosi területek csak kb. $25\text{--}30 \text{ km}^2$ -t foglalnak el), lakóinak száma kb. 170 000 fő. A várost a Tisza folyó szeli ketté K-Ny-i, majd éles kanyarulat után É-D-i irányban (nagyobbik hányada a Tisza jobb partján helyezkedik el). A város-szerkezet fő meghatározója az 1879-es nagy tiszai árvíz utáni újjáépítés során kialakított, a Tiszára, mint tengelyre támaszkodó körutas-sugárutas szerkezet és az ezáltal meghatározott jól áttekinthető beépítettségi tagozódás. A várost körülölelő körtöltés is ez után került kialakításra, ami városklimatológiai szempontból sem elhanyagolható szerkezeti elem (3.1.2. ábra).



3.1.2. ábra Szeged főbb városszerkezeti elemei (a) szabad terület- zöldterület , (b) iparterület, (c) kertváros, (d) lakótelep, (e) belváros, (f) fontosabb utak, (g) vasút, (h) körtöltés

A XX. század második felében a város szerkezete jelentősen módosult az É-ÉK-i, illetve kisebb kiterjedésben a város DK-i peremterületein két hullámban (főleg 1968-78 és kisebb mértékben 1978-88 között) házgyári technológiával épült lakótelepek következtében. A panel lakótelepek megjelenése sajátos szerkezeti tagoltságot visz a város településszerkezetébe. A néhány emeletes épületekkel sűrűn beépített centrum és a 4-10 emeletes panelházakkal nagy területen, de viszonylag lazán beépített térség között megmaradt egy alacsony szintű, sok zöldterülettel és kerttel rendelkező vegyes városrész. Korábban ez a terület fokozatos átmenetet jelentett a sűrűbben beépített városmag és a beépítetlen szabad területek között. A város főbb

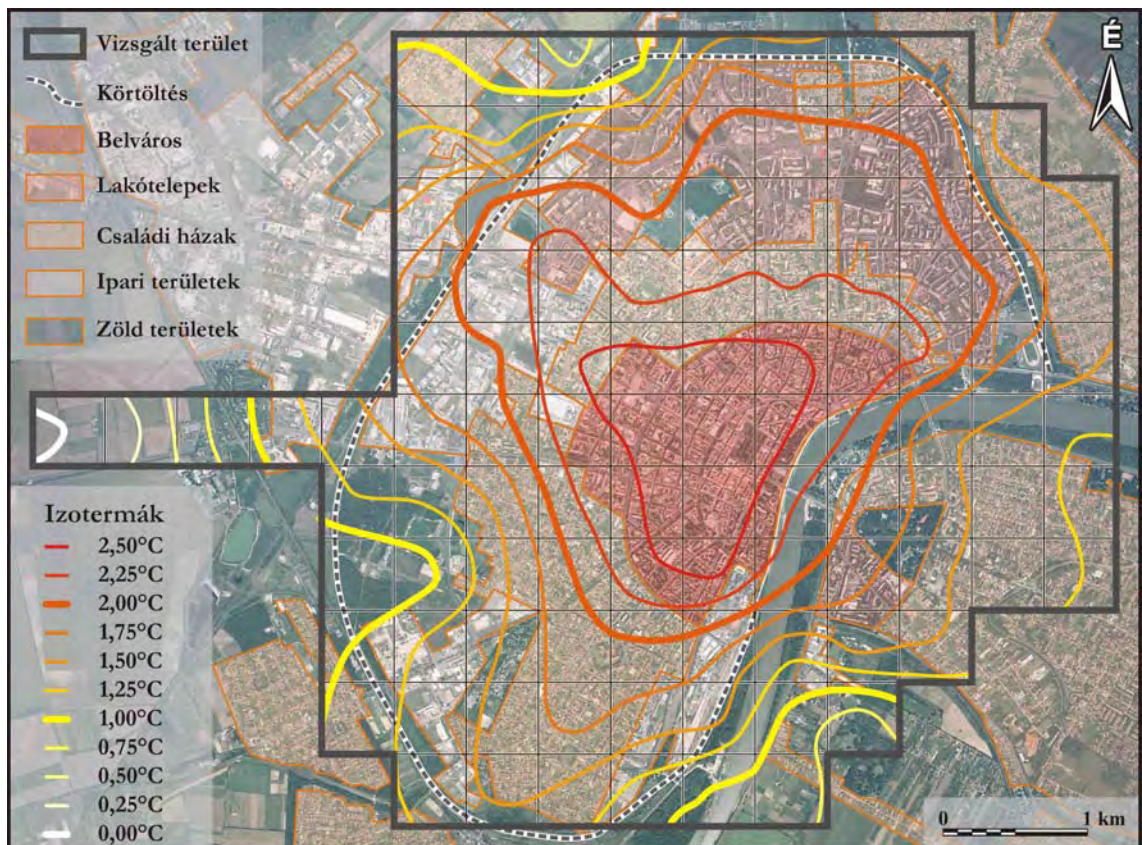
városszerkezeti elemeit a 3.1.2. ábra mutatja be, amelyben a legfőbb beépítettségi típusok az alábbi paraméterekkel jellemezhetők:

- a. A városi parkok, a Tisza partján található galériaerdők és a külterületek már jellemzően növényzettel fedettek, épület vagy szilárd burkolat ezeknek a területeknek csak kis százalékán fordul elő.
- b. Ipari és raktárházak körzetek, ahol a nagy alapterületű és kis magasságú csarnokok a jellemzőek, melyek között a felszín többnyire szilárd burkolattal van ellátva.
- c. Családi házas övezet, ahol a kis alapterületű, egy-két szintes házak között kiterjedt nyílt területek találhatók, főként kerti növényekkel, elszórta fakkal.
- d. Panelépítésű lakótelepek, ahol az igen magas (4-10 emeletes), uniformizált épületek viszonylag ritkán helyezkednek el, és köztük nagy kiterjedésű, nyílt zöldterületek találhatók. Ez a régebbi építésű lakótelepek régióban jelentősebb fás növényzettel borított.
- e. Viszonylag sűrűn és egységesen beépített (2-4 emeletes) belváros, ahol a többségében keskeny utcákat magas házfalak zárják közre. A viszonylag szűk utcákban gyakori a jól fejlett (20-30 éves) fákat magában foglaló többé-kevésbé egységes utcai fasor.

3.2. Szeged városklímájának jellegzetességei

Az elmúlt évek sokrétű városklíma kutatásainak számos eredménye közül csak azokat veszem sorra, amelyek humán bioklimatológiai szempontból is relevánsak. Ezek elsősorban a szegedi városi hősziget, a hősziget által generált cirkuláció – felszíni érdelességgel összefüggő – lehetséges átszellőztető hatására (ún. ventilációs folyosók) illetve légnedvességi jellegzetességekre vonatkoznak.

A tanszékünkön folyó kutatások kimutatták, hogy Szeged esetében a maximális hősziget intenzitás (jóval a lakosságszám alapján becsülhető érték felett) – a kisléptékű klimatikus különbségek kialakulásának kedvező tiszta és szélcsendes időjárású napokon – akár a 8 °C-ot is elérheti (Sümeghy és Unger, 2003; Unger et al., 2001a). Az átlagos maximális *UHI* intenzitás szoros pozitív lineáris kapcsolatban áll a felszínborítottsági paraméterekkel és negatív korrelációban az égboltláthatóság értékeivel (Unger et al., 2001b, 2004). A felszínborítottság nem csak a megfigyelési pont közvetlen közelében, hanem attól távolodva is (csökkenő mértékű) befolyással bír a hősziget intenzitására (Balázs et al., 2009).



3.2.1. ábra Az éves átlagos *UHI* intenzitás területi eloszlása és a beépítettség jellege Szegeden (1999. március – 2000. február) (Sümeghy and Unger, 2003a) (A bekeretezett terület a városklíma vizsgálatok mérési területe, a rácszat pedig a mérések során alkalmazott 500X500 m-es gridhálózat)

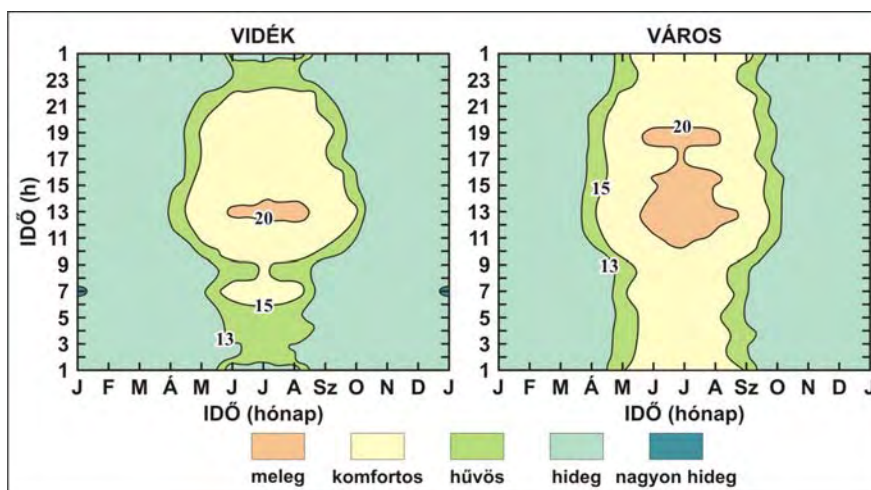
Az éves átlagos maximális *UHI* területi eloszlása Szegeden koncentrikushoz közeli alakot mutat, a legnagyobb értékeket a belváros sűrű beépítettségű területein veszi fel (3.2.1. ábra). Jelentősebb eltérések ettől a formától csak a város ÉK-i és ÉNy-i részein figyelhetők meg, amelyek egybeesnek a nagy panelépítésű lakótelepek területével (Bottyán and Unger, 2003; Sümeghy et al., 2003). A városi hősziget időbeli dinamikájára vonatkozó kutatások ki-mutatták, hogy az *UHI* felépülése és intenzitásának erősödése a naplemente utáni 5-6. óráig tartott, ekkor elérte maximális kifejlődését, s utána megindult a hősziget intenzitásának mér-séklődése (Sümeghy and Unger, 2003b).

Kapcsolódva a hőszigettel kapcsolatos kutatásokhoz, a legújabb kutatási irányok a fel-színi érdesség jellemzésére dolgoznak ki új térinformatikai módszert, amely segítségével egy városban meghatározhatók azok a lehetséges ventillációs pályák, amelyek segítségével a vá-rosi hősziget által indukált légáramlások a felszín közelében átszellőztethetők a városközponti, nagy hősziget intenzitású területeit (Gál and Unger, 2009).

3.3. Korábbi szegedi humán bioklíma kutatások rövid bemutatása

A 60-as 70-es években az orvosmeteorológiai kutatások túlsúlya mellett lassan hazánkban is ismertté vált a humán bioklimatológia nemzetközi szinten akkoriban kibontakozó új irányzata (2.1. fejezet), amely a hazai humán komfort kutatások kezdeteiként értelmezhető (Gajzágó és P. Gubola, 1960; Popovics és Gajzágó, 1965; Szepesi, 1981). A részletesebb humán komfort vizsgálatok azonban csak a 90-es években nyernek teret Magyarországon, elsők között a SZTE Éghajlattani Tanszékén.

A 90-es években a szegedi városklíma kutatás újjáéledésével hamar ráterelődött a figyelem a városklíma jelenségek humán bioklimatológiai szempontú értékelésére is (Unger, 1998). Az első felmérések az 1977-1980 között működött városklíma mérőhálózat adatainak felhasználásával tettek megállapításokat a város és a külterület eltérő bioklimatológiai viszonyairól (Unger, 1995; Unger, 1999b). A vizsgálat a *Thom-féle termohigrometrikus index THI* (2.3.2. fejezet), az ún. „sörkerteti napok”, a meteorológiai extrém napok (pl. *téli nap*: $t_{\text{napi max}} < 0^{\circ}\text{C}$, *fagyos nap*: $t_{\text{napi min}} < 0^{\circ}\text{C}$, *nyári nap*: $t_{\text{napi max}} > 25^{\circ}\text{C}$) számának illetve a fagymentes időszak hosszának elemzésével történt. A városi hatásoktól mentes háttérállomás és egy belvárosi állomás adataiból számított indexek kimutatták, hogy a település klimatikus módosító hatása éves szinten humán bioklimatológiai szempontból jobbra kedvező, ami a téli időszakban a legkifejezettebb.



3.3.1. ábra Külterületi és városi átlagos THI értékek ($^{\circ}\text{C}$) napi és éves menete Szegeden 1978-80 között (Unger, 1999b)

A 3.3.1. ábráról jól látszik, hogy a belvárosban nagyobb gyakorisággal fordulnak elő a THI index alapján „komfortos” kategóriába tartozó időszakok (az év majdnem egyharmadában, míg a külterületen csak az év egy ötödében. Ezzel szemben a nyári időszakban a „meleg”, vagyis szervezetre terhelőbb komfortkategória előfordulása a nagyobb (átlagosan a belterületen 6%-a, külterületen 1%-a az évnek).

A „sörkerti napok” városi és külterületi előfordulásában is jelentős különbség mutatkozik az előbbi javára. Ezen egyszerű indexre alapozott megállapítások előre vetítik a későbbi városi hősziget jelenség és az ezzel összefüggésbe hozható humán bioklimatológiai terhelés kutatása során számszerűsítve is megmutatkozó különbségeket. A meteorológiai extrém napok számának elemzését elsősorban a bioklimatológia növényzet és a klíma egymásra hatását vizsgáló ágazata (pl. agrometeorológia) alkalmazza leggyakrabban (pl. a vegetációs periódus hosszának megállapítása érdekében), ám ez a tényező a humán komfort relációjában sem elhanyagolható. A vizsgált 3 éves időszakban pl. a városi területen 33%-kal kevesebb a *téli napok*, 16%-kal a *fagyos napok* száma, 17%-kal magasabb a *nyári napoké* és 19%-kal hosszabb a fagymentes időszak hossza az év során (Unger and Ondok, 1995).

A későbbiekben egy 2 napos mérési kampány esettanulmánya során a város különböző beépítettségi típusba tartozó területeinek humán bioklimatológiai szempontú értékelése készült el az előzőekben már említett *THI* index segítségével. A felmérés rávilágított arra, hogy a humán bioklimatológiai értékelés annál árnyaltabb, minél több a bevont meteorológiai paraméter, ugyanakkor arra is, hogy az új paraméterek (pl. szélsébség) bevonása jelentősen módosíthatja a humán komfortérzetről alkotott képet. Adott esetben a makroszinoptikus időjárási folyamatok nagymértékben erősíthetik, vagy tompíthatják a városrészek eltérő felszínborítottsági és morfológiai adottságai következtében kialakuló mikroklimatikus paramétereket, következésképpen az ott élő emberek komfortérzetét (Sódar és Unger, 1998).

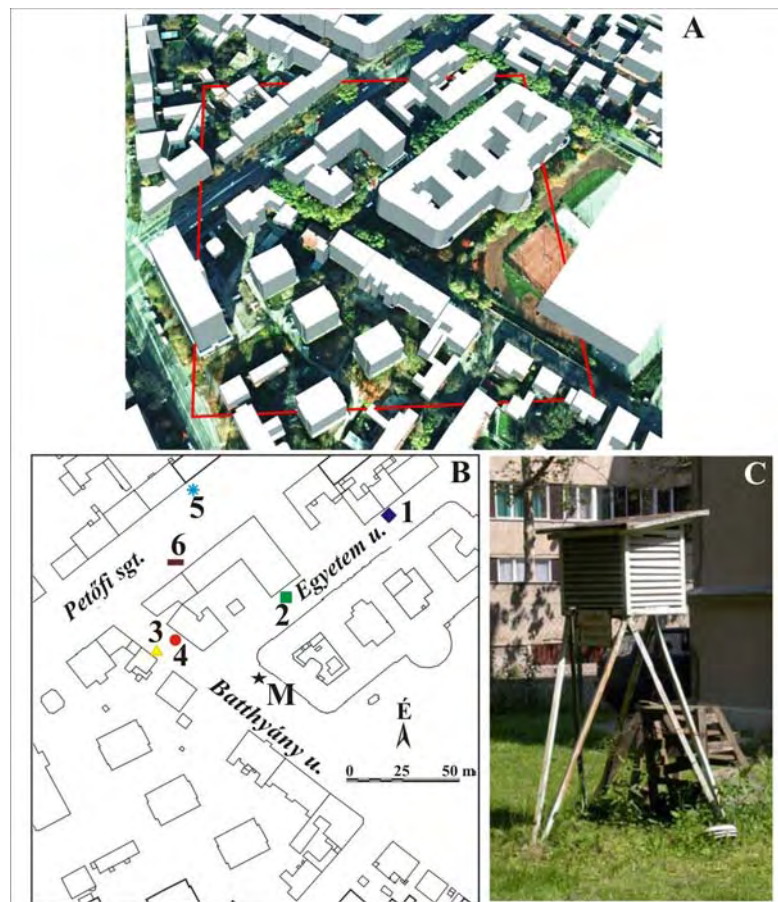
4. Az alkalmazott kutatási módszerek

4.1. A mikro léptékű vizsgálatok adatbázisa és módszerei

A mikro léptékű bioklíma vizsgálatok legfontosabb előfeltétele a megfelelően finom felbontású adatbázis. Ez egyrészt magában foglalja a sugárzási viszonyokat leginkább befolyásoló felszíni geometria 3 dimenziós felmérését (épületek, fák elhelyezkedése, kiterjedése), másrészt a mikroklimatikus viszonyok részletgazdag ismeretét. Ezt követheti a mért adatokból a humán bioklíma indexek számítása.

A mikro léptékű vizsgálatok két különböző metódussal történtek. Az első esetben egy rögzített meteorológiai állomás időjárási adatait felhasználva az adott pontban az alkalmazott modell segítségével változtattam a felszíngeometriai paramétereket és ez alapján vontam le a következtetéseket. A második esetben ugyanezen a mintaterületen 6 kijelölt pontban mobil méréseket végeztünk és így vázoltam a kis területen fellépő jelentős bioklimatikus variabilitást.

4.1.1. Felszíngeometriai adatbázis

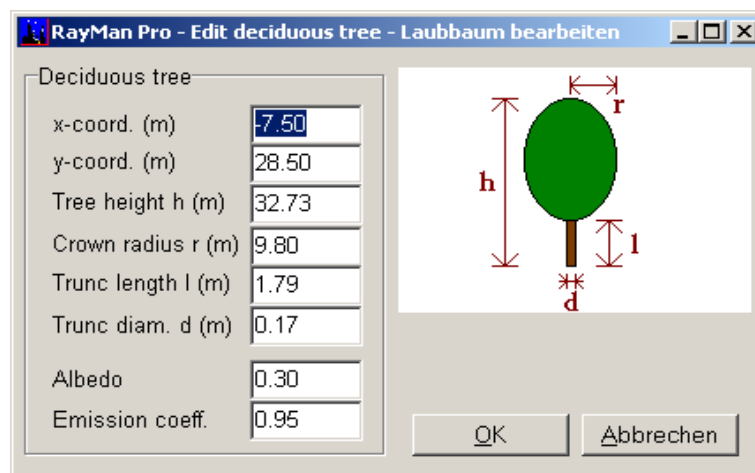


4.1.1. ábra A mintaterület 3D-s Erdas Imagine képe (A), a rögzített meteorológiai állomás **M** és a mobil mérések mérőpontjainak (1-6) mintaterületen belüli elhelyezkedése (B), a Stevenson-féle mérőházikó az egyetem épülete mellett (C) (fotó: Unger J.)

A kiválasztott 200x200 m-es mintaterület a város sűrűn beépített belvárosi régiójában helyezkedik el, túlnyomórészt 2-3 emeletes házakkal szegélyezett szűk utcakanyonok jellemzik. Megfigyelési területünket az SZTE háromemeletes épületegyüttese uralja (4.1.1. ábra). (A tőle délre elterülő, a 3D-s képen már látható többszintes Tanulmányi és Információs Központ a vizsgálatunk időpontjában még nem épült meg, ezért nem szerepel a térképen.)

A területen áthaladó aszfalttal borított utak közül az ÉK-DNY-i irányú Petőfi sgt. a legszélesebb. A szűkebb mellékutcak egyike (Batthyány u.) ÉÉNY-DDK-i, míg a másik kettő (Egyetem u., Alföldi u.) a sugárúttal párhuzamosan ÉK-DNY-i irányú.

A mintaterületen található épületek alapfelületének koordinátáit Szeged Megyei Jogú Város Önkormányzatának nagy méretarányú digitális felmérési térképe alapján, az épületek magasságát pedig az ERDAS IMAGINE fotogrammetriai szoftver segítségével határoztuk meg légifelvételekből készített digitális ortofotók felhasználásával (Unger, 2006).



4.1.2. ábra A fás vegetációról rögzített adatok (a RayMan modell lombhullató fákra vonatkozó adatlapja)

Az utcákat többségében 30 évesnél idősebb (20-30 m magas) lombhullató fák szegélyezik. A leggyakrabban előforduló fajok a nagylevelű hárs (*Tilia platyphyllos*) és a japán akác (*Sophora japonica*). A 4.1.2. ábra a 4.1.3. fejezetben részletesen bemutatásra kerülő Rayman modell fákra vonatkozó adatlapját mutatja be. A térképezés során összesen 184 fa adatait rögzítettük. Nem csak pontos helyüket, hanem fa a teljes (h)- és a törzs (l) magasságát, a törzs átmérőjét (d) és a lombkorona sugarát (r) is feljegyeztük. A magassági felmérés ultrahangos famagasságmérő (Vertex III.) segítségével történt.

Az első vizsgálat során a humán bioklíma elemzés egy pontra történt (az automata meteorológiai mérőállomás helye), amit a 4.1.1.B ábrán **M**-mel jelöltem.

A második esettanulmány során a vizsgált területen hat mérőpontot jelöltünk ki, melyek különböző kitettségi és sugárzási viszonyokkal jellemezhetők. A kijelöléskor törekedtünk arra, hogy e kis mintaterületen belül is jól reprezentáljuk a változatos mikroklimatikus adottságokat. A mérőpontok kijelölése minden esetben a szomszédos épület falától 1,5 m-re történt (4.1.1. B ábra).

4.1.1. táblázat A mobil mérések során kijelölt hat mérőpont geometriai viszonyai

Mérőpont	Utcaszélesség (m)	Utca iránya	Mérőpont kitettsége	H/W	SVF
1.	12,2	ÉK-DNY	DK	1,41	0,06
2.	12,2	ÉK-DNY	DK	1,56	0,15
3.	14,6	ÉÉNY-DDK	ÉK	0,91	0,26
4.	14,6	ÉÉNY-DDK	DNY	0,91	0,22
5.	24,3	ÉK-DNY	DK	1,43	0,20
6.	24,3	ÉK-DNY	ÉNY	1,40	0,16

A 4.1.1. táblázat a mérőpont kitettsége, a H/W arány és az SVF értékek segítségével mutatja be az egyes pontok utcaseometriai viszonyait. Az (1) és (2) mérőállomást az ÉK-DNY irányú Egyetem utcában, az utca északi oldalán jelöltük ki, ahol az állomásokat magas épületek veszik körül. Az (1) állomásnál a fák lombkoronája majdnem összefüggő, míg a (2)-nél a fák távolabb vannak egymástól, nem biztosítanak teljes árnyékolást. A (3) és (4) pont az ÉÉNY-DDK irányú Batthyány utca két oldalán található, itt alacsonyabbak az épületek, így a nap folyamán tovább éri direkt sugárzás a területet. Az (5) mérőhely a széles Petőfi sugárút északi, viszonylag nyílt területén, a (6) a sugárút déli oldalán található. A (6)-os pontban a fasor lombkorona szintje szinte teljesen zárt, gyakorlatilag az egész nap folyamán árnyékolást biztosít a mérőpontnak (4.1.1. táblázat).

4.1.2. Mikroklima adatbázis

Az általam használt bioklimatikus indexek kiszámításához minimálisan szükséges meteorológiai paraméterek a léghőmérséklet (T_a), a szélsébség (v), a relatív nedvesség (RH) és a globálisugárzás (G).

Az első vizsgálat során az adatok rögzítése egy MILOS 500 típusú, Vaisala és Kipp&Zonen szenzorokkal (4.1.2. táblázat) felszerelt, a WMO szabványnak megfelelő, telepített automata meteorológiai állomás segítségével történt 2000. augusztus 04-én.

A hőmérsékleti és a relatív nedvesség érzékelő szenzorok a földfelszíntől – az automata mérőállomás standardjainak megfelelően – 2 m magasságban helyezkednek el, míg a globálisugárzás és a szélsébség mérése az egyetemi épület tetején (mintegy 30 m magasságban) elhelyezett szenzorokkal történt.

4.1.2. táblázat A mikroklíma vizsgálatok során használt szenzorok típusa és pontossága (*90%-os relatív páratartalom felett 3%-ra nő a hibahatár)

Paraméter	Vizsg.	Szenzor	Pontosság
T_a (°C)	I.	Vaisala HMP 35D, HMP 45D	$\pm 0,3$ °C
	II.	HWI HTPI 10	$\pm 0,3$ °C
RH (%)	I.	Vaisala HMP 35D, HMP 45D	± 2 % *
	II.	HWI HTPI 10	± 2 % *
v (ms ⁻¹)	I.	MILOS 500 WAA 15A	± 2 %
	II.	HWI SZS 20A	± 2 %
G (Wm ⁻²)	I.	Kipp&Zonen CM 11 Pyranometer	$\pm 1-3$ %
	II.	HWI SP3 Pyranometer	$\pm 2,5$ %

A humán bioklimatológiai vizsgálatok standardjainak megfelelően a meteorológiai paraméterek mérése az európai nagyrassz testfelépítésének megfelelő átlagos súlypont magasságában (1,1 m) történik (VDI, 1998). Az első esettanulmány során a telepített mérőállomás technikai adottságai miatt ez nem valósulhatott meg. A hőmérséklet és a légnedvesség esetében azonban a szakirodalmi adatok azt mutatják, hogy a városi határregeen belül (különösen annak alsó régiójában, ami az utca szintjében található) az átkeveredés olyan hatékony, hogy a hőmérsékleti és légnedvességi mező ilyen kis magasságkülönbségen (1,1 m – 2 m) belül homogénnek tekinthető (Nunez and Oke, 1977). A kb. 30 m-es magasságban mért szél adatokat pedig a következő összefüggés alapján 1,1 m-es magasságra redukáltam:

$$v_{1,1} = v_h \left(1,1 \times h^{-1}\right)^{\alpha}, \alpha = 0,12 \times z_0 + 0,18 \quad (4.1.)$$

ahol v_h a szélsébség (ms⁻¹) a mért magasságon, α egy empirikus kitevő, ami a felszíni érdeség függvénye, z_0 pedig az érdeségi magasság. A belvárosi mérőpont esetében $z_0 = 2,0$ -nek vettem, mivel a terület sűrűn beépített belvárosi régió magas fákkal (Lee, 1979; Probáld, 1981). A nagyobb magasságban gyakorlatilag 100% égboltiláthatóság mellett mért globálisugárzás értékeit az alkalmazott bioklíma modell a felszíngeometriai (SVF) és a Nap járására vonatkozó (szükség esetén a topográfiai) adatok alapján a szükséges magasságra redukálja. Az indexszámításokat az első esettanulmányban az automata mérőállomás 10 perces átlagértékeivel végeztem.



4.1.3. ábra A mobil meteorológiai mérőállomás (a) és a rajta található szenzorok: szélirány mérő (b), pyranométer (globálsugárzás mérő) (c) sugárzásegyenleg mérő (d), szélssebesség mérő (e), léghőmérséklet és légnedvesség mérő (f) (Fotó: Gál T.)

A második vizsgálat során egy HWI típusú WMO szabványoknak megfelelő szenzorokkal (technikai paramétereiket a 4.1.2. táblázat tartalmazza) és digitális adatrögzítővel a felszerelt, mobilizálható mérőműszert mozgattunk a 6 kijelölt mérőpont között, amelynél a szenzorok beállításánál figyelembe vettük az imént említett standard magasságot (4.1.3. ábra). Az adatok felvételének időtartama a vizsgálati napon (2003. augusztus 06.) hozzávetőlegesen a napfelkeltétől napnyugtáig tartó időszakra (5.30 - 20 óráig) terjed ki. A mobil mérési adatok mellett a mintaterület középpontjában álló (az előzőekben bemutatott) telepített mérőállomás adatait is felhasználtuk viszonyításként.

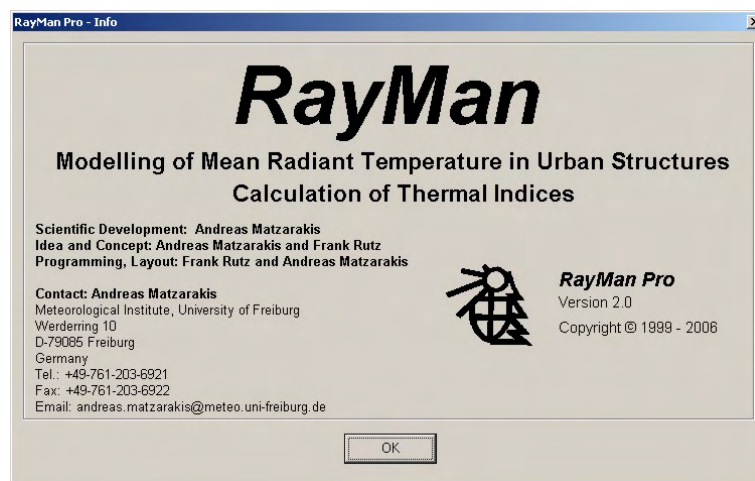
A szükséges meteorológiai paraméterek 1 perces átlagai kerültek rögzítésre: a műszer 10 másodpercenként mért adatokat hatosával átlagolta.

4.1.3. Bioklimatikus indexek kiszámítása

A leggyakrabban használt bioklimatikus indexek mikroklimatikus szintű kiszámításának előfeltétele a nagy felbontású mikroklíma és felszíni geometria adatbázis, valamint ezek összekapcsolása az emberi test termoregulációjának szempontjából releváns paramétereivel. Ennek legfőbb módszertani nehézsége, ahogyan azt a 2.4. fejezetben részletesen elemeztem, a rendkívül összetett városi felszín felől a test felé irányuló sugárzási fluxusok pontos meghatározása. Néhány modell kísérletet tesz e bonyolult feladat megoldására. A leggyakrabban használtak között van például a Liege-i Egyetemen elsősorban épület- és várostervezéssel foglalkozó mérnökök által kifejlesztett CAD alapú ún. *TOWNSCOPE* modell (Teller and Azar, 2001). A szintén városi design tervező japán mérnökök által fejlesztett 3D-CAD típusú mo-

dell a kültéri humán komfort jellemzését az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) segítségével végzi (Asawa et al., 2008). Gyakran használt stacionárius 3D mikroklíma modell az ún. *ENVI-met*, kapcsolt modellként az ún. *BOT-World* modellel, amely a T_{mrt} kiszámítása mellett 2 gyakran használt bioklíma index (*PMV*, *PET*) kiszámítására is alkalmazható (Bruse, 1999; 2007).

Az általam használt ún. RayMan modell szintén napjaink egyik gyakran alkalmazott humán bioklíma modellje. A németországi Freiburgban lévő Albert-Ludwigs Egyetem Meteorológia Tanszékén fejlesztették ki, és tesztelésében számos ország kutatócsoportja vett részt (pl. Matzarakis et al., 2007; Thorsson et al., 2004; Andrade and Alcoforado, 2008).



4.1.4. ábra A RayMan humán bioklíma modell nyitó ablaka

A modell nem szerepel a 2.3.2. *fejezetben* bemutatott modellek között, mert kifejlesztésének nem egy új komfort index kidolgozása volt a célja, hanem a már meglévők kiszámításának megkönnyítése, olyan módon, hogy a városi összetett geometriai viszonyok minél pontosabban figyelembe vehetők legyenek. Azért esett éppen erre a modellre a választás, mert előnyös tulajdonságai miatt több tér- és időbeli skálán is alkalmazható, ezáltal mindhárom vizsgálati lépékben alkalmas volt a szükséges bioklíma indexek kiszámításához (4.1.4. ábra).

A modell az 1998-ban a Német Mérnöki Kamara által megfogalmazott szabványnak megfelelően képes a szükséges adatok bevitele után az átlagos radiációs hőmérséklet (T_{mrt}), illetve a *PMV*, *PET* és *SET** indexek kiszámítására (VDI, 1998).

A modell **bemeneti adatai** 3 csoportra oszthatók:

- *a felszíni struktúrára vonatkozók*

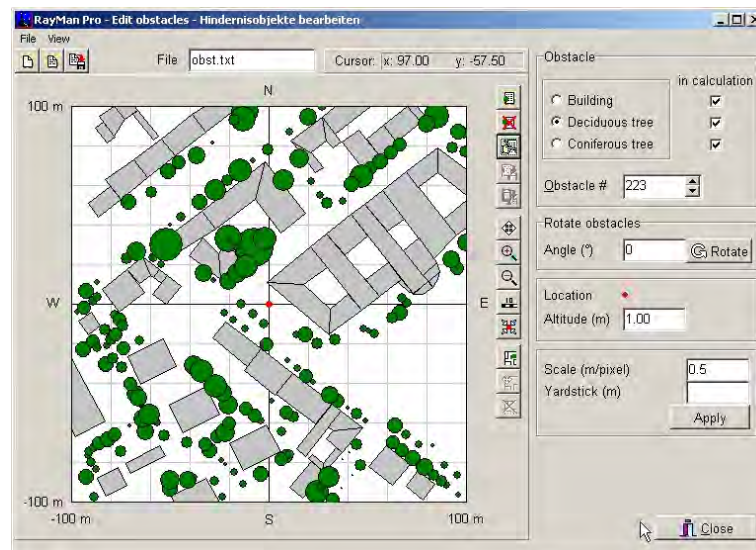
topográfiai adatok, felszíngeometriai adatok (épületek, fás vegetáció), horizontkorlátozási adatok

- *a meteorológiai viszonyokra vonatkozók*
léghőmérséklet (T_a), szélsébség (v), relatív nedvesség (RH), gőznyomás (VP), globálsugárzás (G)
- *a kísérleti alanyra vonatkozó személyes paraméterek*
testmagasság, testsúly, kor, nem, ruházat, fizikai aktivitás, testhelyzet

A felszíni struktúra adatai

- *Topográfiai adatok*

A vizsgált területre vonatkozó topográfiai jellemzők (földrajzi hosszúság, szélesség, tengerszint feletti magasság) alapvetően befolyásolhatják a sugárzási viszonyokat, ezért ezek számításba vétele bizonyos esetekben elengedhetetlen. Esetünkben a mikro- és lokális léptékű vizsgálatoknál eltekintettünk a tengerszint feletti magassági tényezőtől, hiszen Szeged relief viszonyai (mindössze 7 m magasságkülönbség) ebből a szempontból elhanyagolhatóak.



4.1.5. ábra A mikro léptékű vizsgálatok során kijelölt mintaterület RayMan modellben megjelenő képe

- *Felszíngeometriai adatok*

A modell egyik előnye, hogy benne az összetett városi felszíni geometria nagy pontossággal megjeleníthető. Az épületek és növényzet részletes 3D adatbázisa a modellben is elkészíthető, vagy meglévő adatbázisból bevihető (ez szükség esetén a modellben később szerkeszthető). Ennek adattartalmát a 4.1.1. fejezetben mutattam be részletesen. A 4.1.5. ábra a mikro léptékű vizsgálatok során kijelölt 200x200 m-es mintaterület képét mutatja, amely a te-reptárgyak (épületek - szürke, lombhullató fák - zöld) 3D-s adatbázisa alapján készült. A modell a pontszerű indexszámításokat a térképen pirossal jelölt „Location” pontra végzi. A megfigyelési pont helye tetszés szerint változtatható.

- *Horizontkorlátozási adatok*

Amennyiben nem áll rendelkezésünkre a tereptárgyakról pontos 3D adatbázis, a modellben lehetőség nyílik halszem optika segítségével készült fotók bevitelére, és így a fotó alapján a horizontkorlátozás limitációs poligonjának megszerkesztésére. (Mivel jelen esetben részletes felszíngeometriai adatbázissal rendelkezünk, így ilyen bemeneti adatot nem alkalmaztam.)

Meteorológiai adatok

A modell több időbeli léptékkel (10 perces, órás, napi, havi átlagok) mért vagy számított meteorológiai adatok fogadására is alkalmas, lehetővé téve ezzel a sokrétű bioklimatikus értékelést.

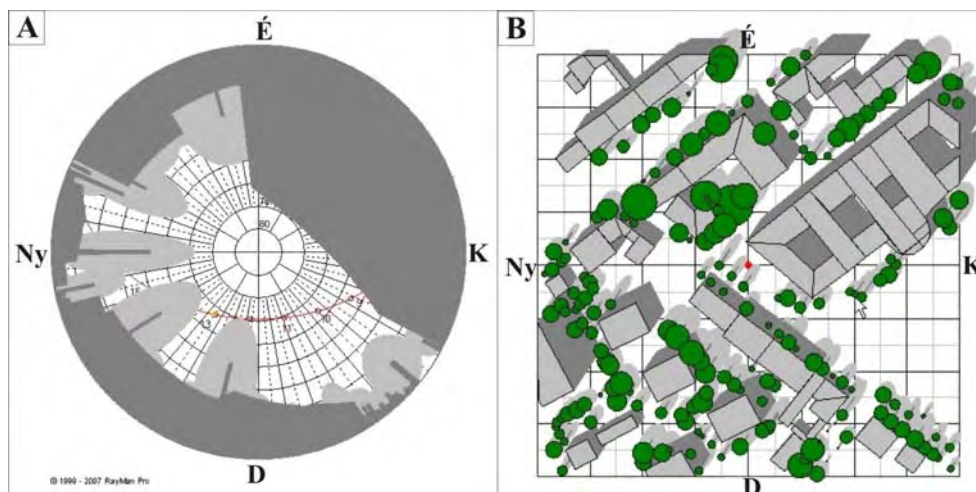
A modellből kinyerhető indexek kiszámításához minimálisan szükséges meteorológiai paraméterek a léghőmérséklet - T_a (°C), a szélesség - v (ms⁻¹), a relatív nedvesség - RH (%) és a globális sugárzás - G (Wm⁻²). (Az esetünkben felhasznált meteorológiai adatok időbeli léptékének és forrásának részletesebb bemutatása a 4.1.2., a 4.2.1. és a 4.3.1. fejezetekben található.)

Személyes paraméterek

A 2.3.2. fejezetben bemutatott emberi test energia-egyenlegén alapuló modellek, így a RayMan modell is számos, a test termikus komfortérzetét befolyásoló, fiziológiai szempontból meghatározó paramétert vesz figyelembe. Ezek például a kor, a nem, a testsúly (kg), a testmagasság (m), a ruházat hőszigetelő hatása (clo), a fizikai aktivitás mértéke (W) és a testhelyzet (álló vagy ülő). A termikus komfortérzet becslése vizsgálataim során minden esetben egy 35 éves, 175 cm magas, 75 kg tömegű férfi példáján történt. A ruházat hőszigetelésének mértéke a *PET* index számításakor a standard 0,9 clo volt (amely könnyű anyagú hosszúnadrágnak és zakónak felel meg). A fizikai aktivitás által termelt hő mennyiségét 80 W-nak vettem, ami egy ülő személy metabolikus hőtermelésének felel meg.

A RayMan modell lehetséges **kimeneti adatai**:

A modell a kiszámított indexek táblázatos formában történő kimenete mellett grafikus kimenet előállítására is képes.



4.1.6. ábra A RayMan modell grafikus kimeneti adataként nyerhető 360°-os panoráma (hal-szem optika jellegű) kép, a pirossal jelzett vonal a Nap látszólagos pályája (A) és a mérőpont 3D-s árnyékviszonyai 2000. 08. 04-én 13 órakor (B)

Lehetőség nyílik például a felszíngeometriai paraméterek bevitele után a mérőpont hal-szem optika jellegű képének megjelenítésére a vizsgálati napra vonatkozó Nap pálya adatokkal együtt, illetve az épületek árnyékhatásának ábrázolására a vizsgálati nap bármely fél órájában. Ez igen szemléletesen ábrázolja a mérőpont környezetéből, illetve a Nap járásából adódó direkt sugárzásra kifejtett módosító hatásokat, amelyek közvetlenül és jelentősen befolyásolják a mérőpontban tartózkodó személy hőérzetét (4.1.6. ábra).

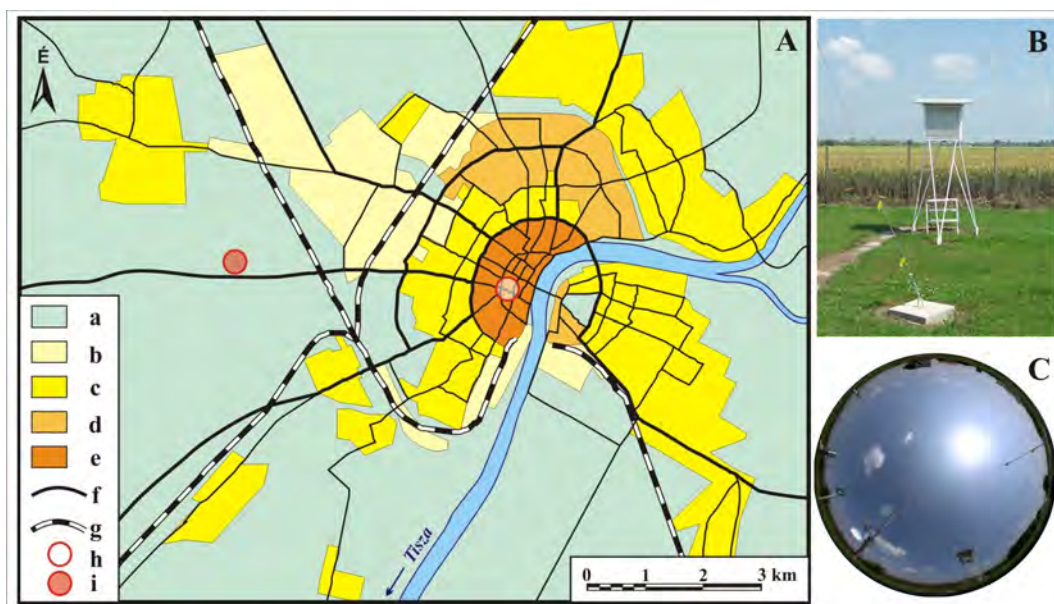
4.2. A lokális léptékű vizsgálat adatbázisa és módszerei

A lokális léptékű humán bioklimatológiai vizsgálatok során a nagyobb térbeli lépték mellé nagyobb időbeli léptéket is alkalmaznak, a jelenségek kialakulásának és hatóidejének megfelelően (pl. Mc Gregor et al., 2002).

4.2.1. Felszíngeometriai és meteorológiai paraméterek

A városklíma kutatás gyakorlatában is bevett módszer a városon belüli és kívüli területek különbségeinek feltárásában egy jellegzetes külterületi és belvárosi (mint a városi módosító hatás reprezentálására alkalmas megfigyelési helyszín) mérőpont adatainak összevetése (pl. Lowry, 1977; Oke, 1987; Stewart, 2007).

Vizsgálataim során a humán bioklimatológiai viszonyok összehasonlításánál én is ezt a módszert alkalmaztam. A városi hatásoktól mentesnek tekinthető (a vizsgálatban gyakran „rurál” mérőpontként nevezett), az Országos Meteorológiai Szolgálat Bajai úti megfigyelőállomásán található mérőpont környezete vegetációs időszakban alacsony (maximum 1 m-es) mezőgazdasági növényzettel fedett, nyílt ($SVF \approx 1$) terület (4.2.1. ábra).



4.2.1. ábra Szeged főbb városszerkezeti elemei a lokális léptékű vizsgálat során alkalmazott két mérőállomás elhelyezkedésével (A):(a) szabad terület, (b) iparterület, (c) kertváros, (d) lakótelep, (e) belváros, (f) fontosabb utak, (g) vasút, (h) a belvárosi jellegű mérőpont, (i) külterületi jellegű mérőpont, valamint a külterületi állomás hagyományos és halszem optikás kamerával készült felvétele (B,C) (Fotó: Unger J.)

A sűrű beépítettségű belvárosi területen elhelyezkedő (a vizsgálatban gyakran „urbán” mérőpontként nevezett) automata mérőállomás karakterisztikájának jellemzése a 4.1.1. fejezetben található. Az e mérőpontra vonatkozó indexek kiszámításakor figyelembe vettem az említett fejezetben részletezett módon előállított beépítettségi és vegetációs paramétereket. A kapott adatokból egy tipikus városi környezetben elhelyezkedő megfigyelési pontra vonatkoztatott következtetések vonhatók le. A mérőpont morfológiai karakterisztikája természetesen erősen rányomja a bélyegét a mikroklimatikus és mikro léptékű bioklimatikus viszonyokra, mezo (lokális) tér- és hosszabb idő léptéken azonban alkalmas arra, hogy segítségével általános érvényűnek tekinthető megállapításokat tegyünk a városi és a városon kívüli környezetek humán bioklimatikus karakterisztikájának bemutatására.

A T_{mrt} és a PET index RayMan modell segítségével történő kiszámításához a 4 felhasznált meteorológiai paraméter ez esetben is a léghőmérséklet (T_a), a szélsébség (v), a relatív nedvesség (RH) és a globálsugárzás (G) volt.

Az adatrögzítés mind a városon belüli, mind pedig az azon kívüli mérőpontban a 4.1.2. fejezetben az I. mikro léptékű vizsgálat során bemutatott azonos szenzorokkal felszerelt telepített automata mérőállomások műszereivel történt. (A szenzorok műszaki paramétereinek részletes bemutatása a 4.1.2. táblázatban található.) Az elemzések a 2003. március 01. és november 30. közötti időszakra vonatkoznak, mert a kültéri humán komfort vizsgálatok szempontjából ebben az időszakban jelentősebb a szabadtéri aktivitás. Másrészt azért éppen 2003-ra, mert az ezen a nyáron az egész Európát sújtó hőhullám Magyarországot sem kímélte, tehát

egy átlagoshoz közeli időjárású nyárához képest valószínűsíthetően még nagyobb megterhelést okozott a városban élők szervezetére.

A nagyobb időbeli lépték miatt a városi mérőpont 10 perces átlagaiból órás átlagokat képeztem, a városon kívüli állomás órás átlag adatait pedig az Országos Meteorológiai Szolgálat Földfelszíni Megfigyelések Osztálya bocsátotta a rendelkezésemre.

A két mérőállomás különböző (10 m és 30 m) magasságban mért szél adatait a (4.1.) összefüggés alapján azonos (1,1 m) magasságra redukáltam. Ebben az esetben a belvárosi mérőpontnál az előzőekhez hasonlóan z_0 -t 2,0-nek vettem, a városon kívüli területnél pedig 0,12-nek, mivel ez utóbbi alacsony növényzettel borított mezőgazdasági területen helyezkedik el (Lee, 1979; Probáld, 1981, Gál and Unger, 2009).

4.2.2. A lokális léptéken alkalmazott vizsgálati módszerek

Az elemzés során elsőként a klasszikus városklimatológiai metódus szerint a mért meteorológiai adatok alapján elemzem a vizsgált időszakban a városi és városon kívüli megfigyelőpont klimatikus sajátosságait és az azok között mutatkozó különbségeket.

Majd a meteorológiai paraméterek alapján számított index értékek (T_{mrt} , PET) statisztikai elemzését végzem el. A teljes megfigyelési periódusra (2003.03.01– 2003.11.30) elvégzett abszolút- és relatív gyakoriság eloszlási vizsgálata során a bioklimatikus komfort index esetén a fiziológiai terhelés kategória értékei szerint képeztem osztályokat. A gyakoriság elemzés mellett kitérek a teljes időszak maximális, minimális és átlagos PET értékeinek összehasonlítására városban és városon kívül. (A mikro léptékű vizsgálatokból jól látszik, hogy a PMV és a PET indexek egymás mozgását szorosan követve hasonló eredményeket adnak, ezért a mezo léptékű vizsgálat kiértékelésekor csak a PET indexet használom a hőérzet, illetve a fiziológiai terhelés mértékének számszerű kifejezésére.)

Mivel az elemzés egyik fő célja a városi (urbán) és városon kívüli (rurál) területek sajátosságainak és ezen keresztül különbözőségének bemutatása, mind a meteorológiai paraméterek, mind pedig a bioklimatikus mutatók elemzésénél gyakran alkalmaztam a két terület különbségének (pl. ΔT_a , ΔPET) értékelését. A különbség (Δ) értékeket minden esetben a városból a városon kívüli területek értékeit levonva (urbán-rurál) állítottam elő.

Ahogy a légköri jelenségek esetében általánosságban, úgy a bioklimatológiai hatótényezők esetén is láthattuk, hogy a tényleges fiziológiai hatás az egyes tényezők összetett kölcsönhatásából alakul ki. Így szükséges a tényezők közötti sztochasztikus kapcsolat vizsgálata. A tényezők, mint változók kapcsolatának (jellege, erőssége) kiderítésére irányuló vizsgálódás során elsőként hisztogramok és a Kolmogorov-Smirnov próba segítségével normalitás vizsgálatot végeztem. Mivel a vizsgálatok során bebizonyosodott, hogy adataim nem normális eloszlást mutatnak, kapcsolatelemzés (regresszió analízis) előtt standard normál eloszlásúvá transzformáltam azokat.

Annak eldöntésére, hogy a független (pl. T_a , T_{mrb} , v) és a függő (PET) változók között van-e kapcsolat, lineáris regresszió analízis vizsgálatokat végeztem. A számítás során nyert korrelációs együttható egy arra vonatkozó feltevés, hogy két változó között lineáris kapcsolat van. Az, hogy ez a konkrét számmal kifejezett kapcsolat reális-e, tehát igaz-e a feltevés, hogy a két változó kapcsolatban áll egymással, szintén feltevésvizsgálattal dönthető el. Null-hipotézisünk jelen esetben az, hogy a két változó között nincs kapcsolat, tehát a korrelációs együttható nulla. Ha a kiszámított korrelációs együttható abszolút értéke elég nagy (elemszámtól függően), a null-hipotézis (nincs kapcsolat) kellő biztonsággal elvethető. Az eloszlási viszonyok miatt az alkalmazott korrelációs vizsgálati módszer a Spearman-féle nem parametrikus korrelációs vizsgálat volt.

A további kapcsolatelemzések (regresszió számítás) során arra kerestem a választ, hogy a különböző meteorológiai elemek és a bioklimatikus terhelés (PET -tel kifejezett értéke) között hogyan (milyen függvényrel) írható le a kapcsolat. Az elemzéseket évszakokra és nap-szakokra is elvégeztem, melynek segítségével pontosabb kép rajzolódik ki a fiziológiai terhelés kialakulásának kapcsolatrendszeréről.

Az adatok feldolgozásához, a statisztikai elemzésekhez és a grafikus megjelenítéshez Microsoft Excel, SPSS 11.0 és Surfer 8.0 számítógépes szoftvereket használtam.

4.3. A makro léptékű vizsgálat adatbázisa és módszerei

A makro léptékű vizsgálat során a célom a földrajzi és a bioklimatológiai információk összekapcsolásával Magyarország bioklíma térképének megrajzolása (a PET index térbeli eloszlásának vizsgálata havi bontásban) volt, a rendelkezésemre álló eszközök segítségével a lehető legnagyobb pontossággal.

A PET index kiszámításához a Kelet-Angliai Egyetem (University of East Anglia, Norwich, UK) által összeállított ún. CRU (Climatic Research Unit) meteorológiai adatbázist használtam fel. Az adatbázis több ezer meteorológiai állomás (nemzeti meteorológiai szolgálatok, egyéb szolgáltatók) 1961-1990-es időszakra vonatkozó klímanormáinak interpolálásával készült, amely 8 meteorológiai paramétert tartalmaz (pl. csapadék, hőmérséklet, napi hőingás, relatív nedvesség, napfénytartam, szélsébség stb.) (New et al., 1999, 2000, 2002). Az adatbázis felhasználására leginkább a klímaváltozás tendenciáinak előrejelzése kapcsán, a szimulációk értékelésénél látunk példát. Ekkor az 1961-1990 közötti referencia időszakra kapott modellszámítási eredmények elemzésével validálható a felhasznált klímamodell és a kapott előrejelzés (pl. Bartholy et al., 2008).

Mivel nem állt rendelkezésemre megfelelő felbontású mért meteorológiai adatbázis, ezért a bioklimatikus jellemzésre a fenti adatbázis adatainak felhasználásával végeztem. A PET index előállításához szükséges alapadatok – léghőmérséklet, relatív nedvesség és a szélsébség – havi bontásban nyerhetők ki az adatbázisból. A sugárzás jellemzésére a havi nap-

fénytartam adatokból átlagos felhőborítottság adatot állítottunk elő, így az átlagos sugárzási hőmérséklet (T_{mrt}) számítása a RayMan modell segítségével ennek alapján történt.

A területi ábrázoláshoz a számított *PET* index értékeket többváltozós lineáris regresszió segítségével finomabb területi felbontásúvá (1 km) tettem (független változók a földrajzi szélesség, hosszúság és a tengerszint feletti magasság) a 4.1. képlet alapján:

$$PET = \beta_0 + \beta_1 \times \text{szélesség} + \beta_2 \times \text{hosszúság} + \beta_3 \times \text{magasság} \quad (4.1.)$$

Ehhez az ún. *GLOBE* digitális terepmodell adatait használtam fel (Hastings et al., 1999). Az adatbázisban – előállításának sajátosságai miatt – a vízfelületek pixelei null értéket kaptak. Ezért a nagyobb vízfelületek (Balaton, Fertő-tó, Velencei-tó) fehér foltként jelennek meg a térképeken, ami így nem zavaró, az egyéb, kisebb „lyukak” esetén pedig interpoláció segítségével igyekeztem a hiányt kiküszöbölni.

4.3.1. táblázat A többváltozós lineáris regresszió determinációs koefficiensei (r^2) és az eredményként kapott paraméterek az egyes hónapokban

<i>Hónap</i>	r^2	σ_r	β_0	β_1 -szélesség	β_2 -hosszúság	β_3 -magasság
január	0,825	0,59	28,179	-0,609	-0,277	-0,004
február	0,869	0,57	30,176	-0,593	-0,194	-0,006
március	0,899	0,56	36,253	-0,622	-0,114	-0,007
április	0,885	0,59	30,809	-0,418	0,035	-0,008
május	0,873	0,62	32,458	-0,319	0,046	-0,008
június	0,806	0,85	37,170	-0,331	0,056	-0,009
július	0,829	0,88	46,814	-0,454	-0,006	-0,009
augusztus	0,832	0,85	47,064	-0,483	0,021	-0,009
szeptember	0,859	0,67	46,679	-0,586	0,001	-0,007
október	0,847	0,63	40,154	-0,612	0,005	-0,006
november	0,872	0,57	36,241	-0,733	0,061	-0,006
december	0,856	0,53	29,992	-0,662	-0,126	-0,005

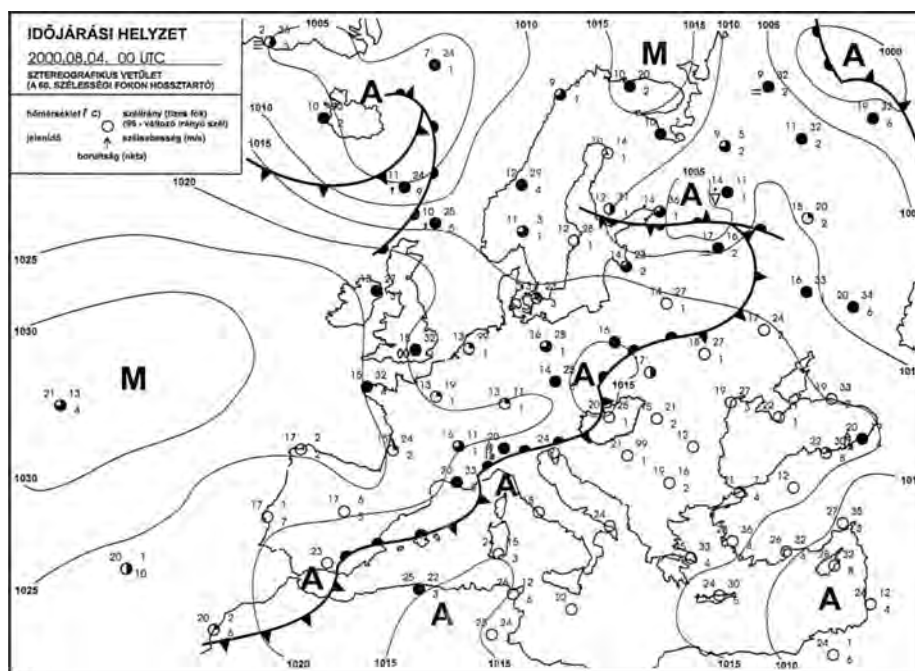
A 4.3.1. táblázat a többváltozós lineáris regresszió determinációs koefficienseit és a regressziós egyenes különböző paramétereit tartalmazza. A regresszió során azt vizsgáltam, hogy a sztochasztikus függő változó (*PET*) hogyan függ több magyarázó (pl. földrajzi hosszúság, szélesség, magasság) változótól. A determinációs együttható (r^2) azt mutatja, hogy a függő változó varianciájának (pontosabban az átlagtól való eltérés-négyzetösszegnek) mekkora hányada tulajdonítható a magyarázó változók hatásának; értéke 0 és 1 között változhat. Jelen dolgozatban részletesebb bemutatásra minden évszakra példaként a 4 félkövéren szedett hónap adatai kerülnek.

5. Eredmények és következtetések

5.1. A mikro léptékű vizsgálatok eredményei

A mikroklimatikus adottságok egy összetett városi környezetben pontról pontra jelentősen változnak. Feltételezhető, hogy az emberi szervezetet ért bioklimatikus terhelés is ennek megfelelően változik. A mikro léptékű bioklíma vizsgálatok célja egy szegedi mintaterület példáján e változatos terhelés kvantitatív értékelése, a terhelés csökkentési lehetőségeinek feltárása. A probléma megközelítése a 4.1. fejezetben vázoltak szerint kétféle módon történik. Az első esetben a mintaterület egy pontján végzett mérések alapján modellezés segítségével módosítom a felszíngeometriai adottságokat és így vizsgálom a bioklimatikus adottságok változását. A második esetben 6 különböző felszíngeometriai helyzetű mérőpontban történt mikroklima mérés adja a bioklimatikus index számítások, illetve a szervezetet érő terhelés vizsgálatának alapját.

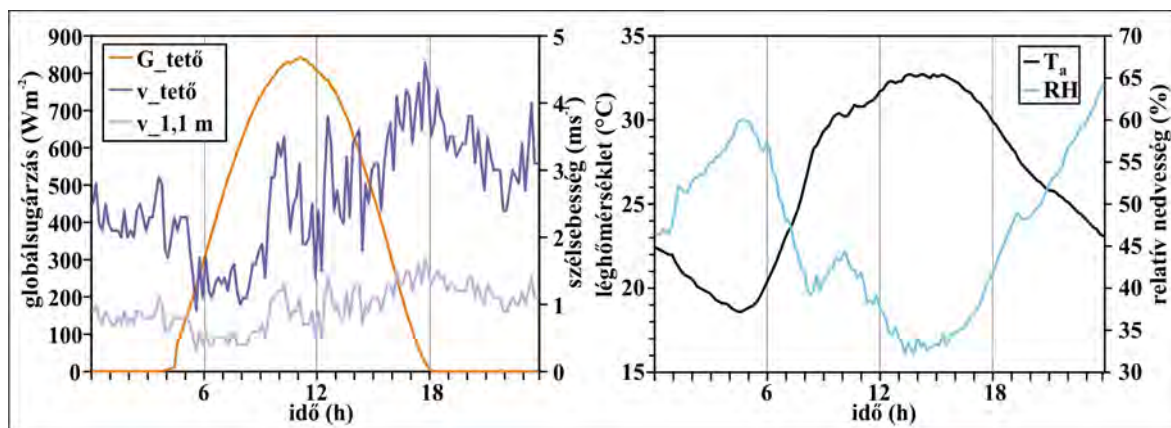
5.1.1. Első esettanulmány



5.1.1. ábra Szinoptikus időjárási helyzet 2000. augusztus 04-én 00.00 UTC-kor (02.00 CET)

Az első esettanulmány adatainak rögzítése 2000. augusztus 04-én történt. Ezen a napon a Kárpát-medence nyugati szélét egy hosszan elnyúló időjárási front érte el, ám a front előtt az ország D-DNy-i részét még az előző napokhoz hasonló anticiklonális jellegű meleg, napos, száraz időjárás jellemezte (5.1.1. ábra). Ezt jól tükrözik a városban rögzített időjárási paraméterek is (5.1.2. ábra). A globálsugárzás ($G_{\text{tető}}$) igen magas maximális értéke (842 Wm^{-2}) is

arra utal, hogy a nap során kültéri körülmények között a legfontosabb humán komfortot befolyásoló tényező a rövidhullámú sugárzás volt. A 4.1.2. fejezetben részletezett módon az egyetemi épület tetőszintjében mért szélsébséget ($v_{\text{tető}}$) a (4.1.) képlet alapján 1,1 m-re magasságra redukáltam ($v_{1,1}$). A nap átlagos szélsébsége $0,95 \text{ ms}^{-1}$, a kora reggeli-délelőtti órákban mértük a legalacsonyabb értékeket.

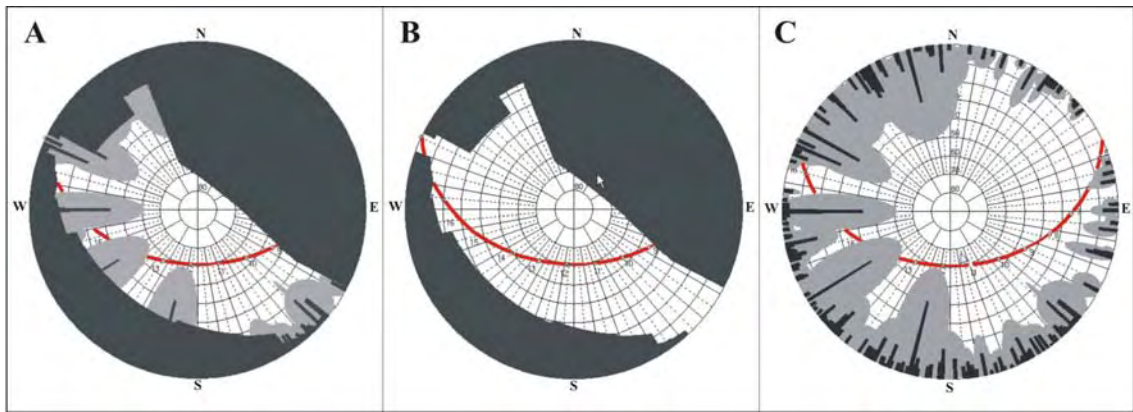


5.1.2. ábra A humán bioklimatológiai szempontból releváns időjárási paraméterek alakulása 2000. augusztus 04-én (UTC)

A léghőmérséklet (T_a) a napfelkelte előtti minimumáról ($18,6^{\circ}\text{C}$) indulva gyors emelkedéssel már kora délelőtt elérte a 30°C -ot. A 14 óra körül mért maximális értéke $32,7^{\circ}\text{C}$ volt és 18 óráig 30°C fölött maradt. Szinte a hőmérsékleti görbe tükörképeként változott a relatív nedvesség (RH), amely ennek megfelelően a maximumát (60%) napfelkelte körül, míg minimumát (32%) 14 óra körül érte el.

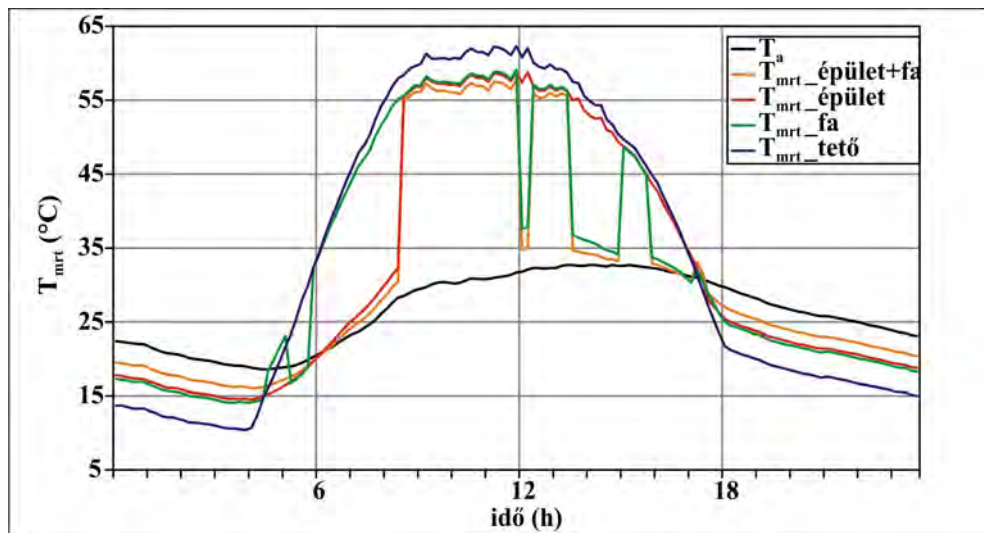
Az esettanulmány alapját egy modell szimuláció képezte, amely során a 4.1.1. fejezetben bemutatott $200 \times 200 \text{ m}$ -es mintaterület közepén elhelyezkedő pont körül megváltoztattam a felszíni geometriai feltételeket, így a valós és a két „hipotetikus” helyzetre készítettem bioklimatológiai elemzést. A 5.1.3. ábra a 3 vizsgált szituáció halszem optika jellegű képét mutatja:

- (A) a valós felszíngeometriai viszonyok (a diagramokon mint „valós” szerepel)
- (B) a mintaterületről eltávolítva a fás vegetációt, mintha a terület geometriáját csak épületek alkotnák (a diagramokon mint „épület” szerepel)
- (C) a mintaterületről eltávolítva az épületeket, mintha a terület geometriáját csak fák alkotnák (a diagramokon mint „fa” szerepel). (Természetesen ilyen helyzet ritkán fordul elő városi környezetben, de pl. egy nagyobb park esetén lehetséges.)
- Az elemzésben összehasonlításként szerepelnek az egyetem épületének tetején gyakorlatilag $SVF=1,0$ mellett és a felszíni érdesség jelentős légmozgást fékező hatása nélküli értékek (a diagramokon mint „tető” szerepel).



5.1.3. ábra A vizsgált terület középpontja felett látható 360°-os panoráma (halszem-optika jellegű) kép (A) valós felszíngeometria esetén, (B) csak épületekkel, (C) csak fákkal és a Nap látszólagos pályájával (piros vonal) 2000. augusztus 04-én

A sugárzási viszonyok következményeként az átlagos radiációs hőmérséklet (T_{mrt}) értéke a tetőn napfelkelte után meredeken emelkedik, a nappali órákban itt (majdnem 100%-os égboltláthatóság mellett) mutatja a legmagasabb értékeket, maximumát 12:00 (UTC)-kor éri el ($62,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) (5.1.4. ábra). A T_{mrt} a zavartalan direkt sugárzásnak köszönhetően a nappali órák teljes hosszában a három másik szituációnál számított érték felett mozog, naplemente után viszont az erős és akadálytalan kisugárzás miatt mindvégig alattuk marad.

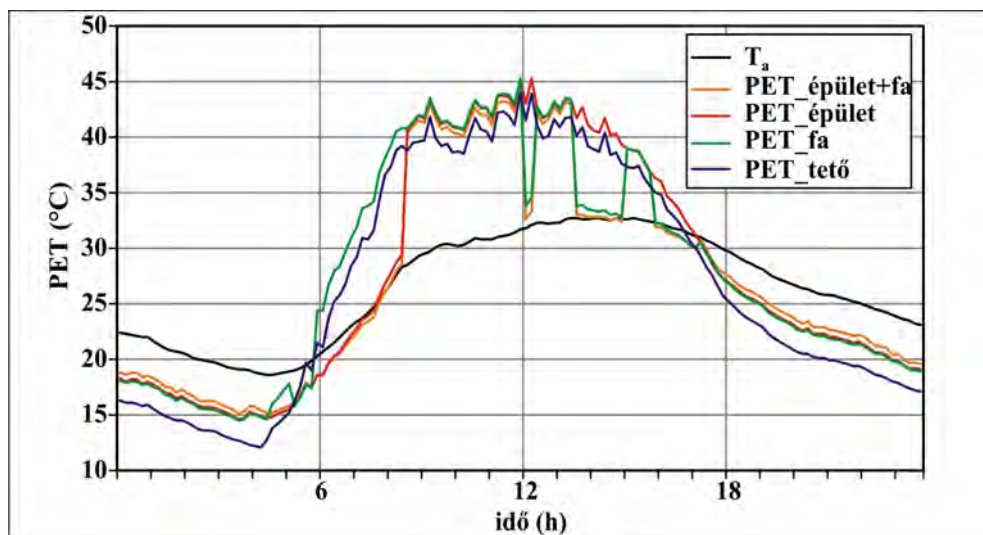


5.1.4. ábra A léghőmérséklet (T_a) és T_{mrt} napi menete a valós ($T_{mrt_épület+fa}$), a két fiktív ($T_{mrt_épület}$, T_{mrt_fa}) felszíngeometriai helyzetben és a tetőn ($T_{mrt_tető}$) 2000. augusztus 04-én (UTC)

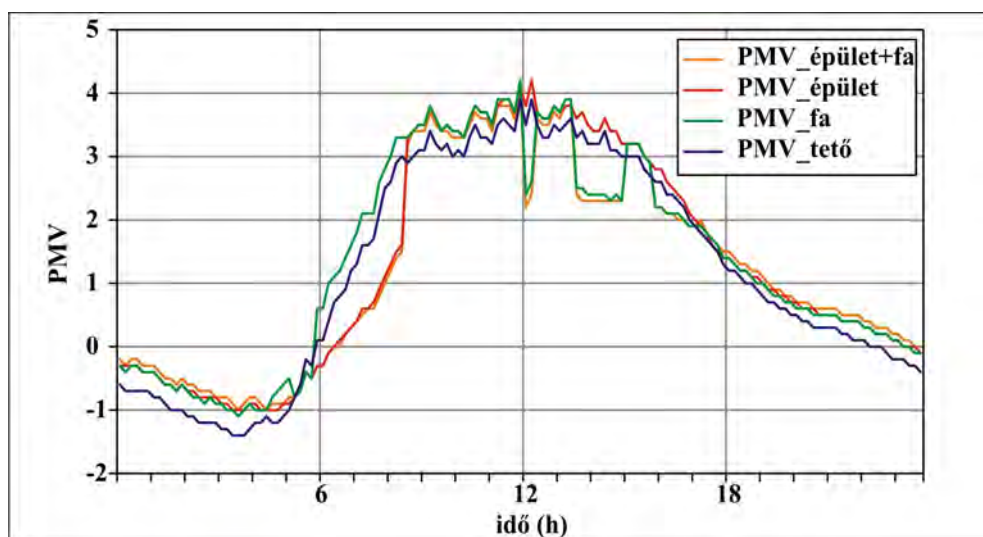
A valós és a két modellezett felszíngeometriai helyzetben a nap más és más időszakában a T_{mrt} jelentős csökkenése tapasztalható a tereptárgyak árnyékolásának következtében. A napfelkeltétől naplementéig a valós felszíngeometriai helyzetben számított $T_{mrt_épület+fa}$ értékek mindvégig (bár csekély mértékben) alulmúlják a két szimulált szituációban tapasztalható értékeket, mert az összetettebb felszíni geometria a sugárzás jelentősebb redukcióját okozza

(5.1.4. ábra). (A felszíni geometriai viszonyok összetettségét tükrözik az egyes modellezett szituációk SVF értékei is, amelyről az 5.1.1. táblázat nyújt tájékoztatást.)

A megfigyelési nap termofiziológiai viszonyainak jellemzését a 2.3.2. fejezetben bemutatott PET és a PMV segítségével végeztem el. Az indexek napi menetét mutatja be az 5.1.5. és az 5.1.6. ábra.



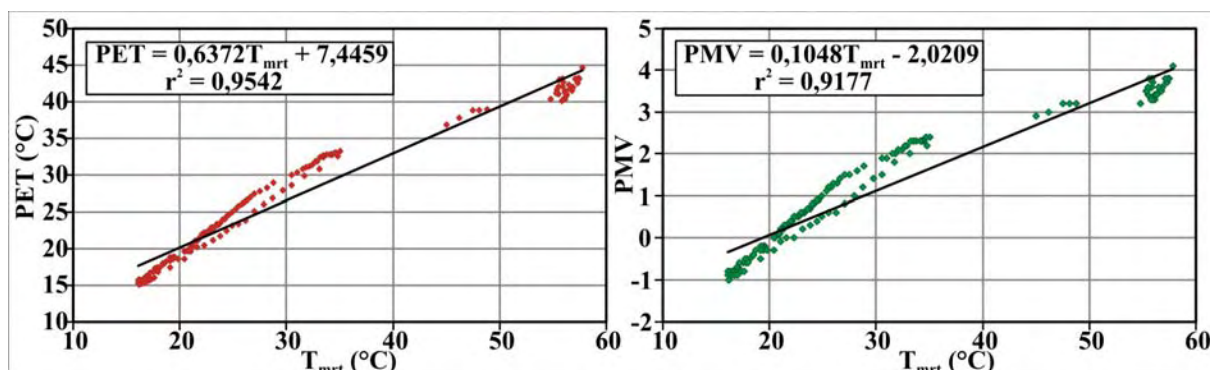
5.1.5. ábra A léghőmérséklet (T_a) és a PET napi menete a valós ($T_{mrt_épület+fa}$), a két fiktív ($T_{mrt_épület}$, T_{mrt_fa}) felszíngeometriai helyzetben és a tetőn ($T_{mrt_tető}$) 2000. augusztus 04-én (UTC)



5.1.6. ábra A PMV napi menete a valós ($T_{mrt_épület+fa}$), a két fiktív ($T_{mrt_épület}$, T_{mrt_fa}) felszíngeometriai helyzetben és a tetőn ($T_{mrt_tető}$) 2000. augusztus 04-én (UTC)

Az 5.1.7. ábra szerint a PET és a PMV indexek szoros összefüggést mutatnak a sugárzási viszonyokkal a valós felszíngeometriai szituáció (épület+fa) esetén. A diagramról leolvasható, hogy erős pozitív jellegű kapcsolat áll fenn e két-két paraméter között, azaz a T_{mrt} értékének növekedésével nő bioklimatikus terhelés mértéke is. A lineáris kapcsolat szorosságát

a korrelációs együttható magas értéke ($r = 0,977$ és $0,957$) támasztja alá, ugyanis ennek az értéknek az elfogadási tartománya (140 elem(pár) esetén, 1%-os szignifikancia szinten) $r = 0,23$ (Péczy, 1979).



5.1.7. ábra A T_{mrt} és a PET , illetve a T_{mrt} és a PMV között fennálló kapcsolat a valós felszín-geometriai viszonyok (épület+fa) között ($n=140$)

A PET és a PMV napfelkelte után gyorsan emelkedik, ám az emelkedés az épületek által leárnyékolta két esetben ($PET_{\text{épület+fa}}$, $PET_{\text{épület}}$) kisebb ütemű (5.1.5. és 5.1.6. ábra). Mindkét index a déli órákban éri el a maximumát felszíngeometriai helyzettől függően változó értékkel. Ekkor mind a valós, mind pedig a fiktív szituációkban erős direkt sugárzás éri a megfigyelési pontot. A PET maximuma 44 és 45,3 °C, míg a PMV -é 3,9 és 4,2 között változik. Ez minden esetben meghaladja az *extrém* fiziológiai terhelési szintet. Megfigyelhető, hogy bár a T_{mrt} elemzésekor kitűnt, hogy a sugárzás az egész nap során a tetőszinten volt a legerősebb, az indexek alapján megállapítható terhelés mértéke az utca szintjében lévő mérőpontban a nagyobb, bármilyen tereptárgyak is veszik körül. Ez annak tudható be, hogy a felszín közelében megnövekedett érdesség (ami annál nagyobb, minél összetettebb a felszín) erőteljes szélsébség csökkenést idéz elő, amely jelentősen rontja a hőleadási folyamatok hatékonyságát, azaz emeli a szervezetre gyakorolt terhelő hatást.

Azoknál a szituációknál, ahol a fás vegetáció is csökkenti a sugárzás mértékét ($PET_{\text{épület+fa}}$, PET_{fa}) a nappali órákban többször figyelhetünk meg jelentős indexcsökkenést. Ez olyan mértékű is lehet akár (PET esetén 12-13 °C, PMV -nél 1,8), hogy a fiziológiai stressz szintje két kategóriával, az *extrém magasról* a *mérsékelt* szintre csökken. Ez elsősorban a lombhullató fakorona mérséklő hatásának tudható be, bár amikor a valós szituációban az épületek falai is közrejátszanak a sugárzás módosításában, akkor ez további (bár igen kis mértékű) csökkenést okoz.

5.1.1. táblázat A T_{mrt} , PET és PMV napi átlagos, maximum és minimum értékei illetve az átlagok a valós (épület+fa), a két fiktív (csak épület, csak fa) felszíngeometriai helyzetben illetve a tetőn, napszakos (nappali (N) és éjszakai (É)) bontásban 2000. augusztus 04-én

	T_{mrt} (°C)				PET (°C)				PMV			
	átlag		max	min	átlag		max	min	átlag		max	min
	N	É			N	É			N	É		
épület+fa $SVF=0,278$	30,9		57,8	16,1	27,1		44,6	15,1	1,2		4,1	-1,0
	38,0	21,1			31,5	20,7			2,0	0,2		
csak épület $SVF=0,431$	32,3		58,8	14,5	27,8		45,3	14,6	1,3		4,2	-1,0
	41,5	19,4			33,4	20,1			2,2	0,1		
csak fa $SVF=0,560$	32,6		59,1	14,1	28,1		45,3	14,5	1,4		4,2	-1,1
	42,5	19,0			33,9	20,0			2,3	0,1		
tető $SVF=1,0$	34,0		62,3	10,6	27,0		44,0	10,6	1,2		3,9	-1,4
	47,5	15,5			33,5	18,1			2,2	-0,1		

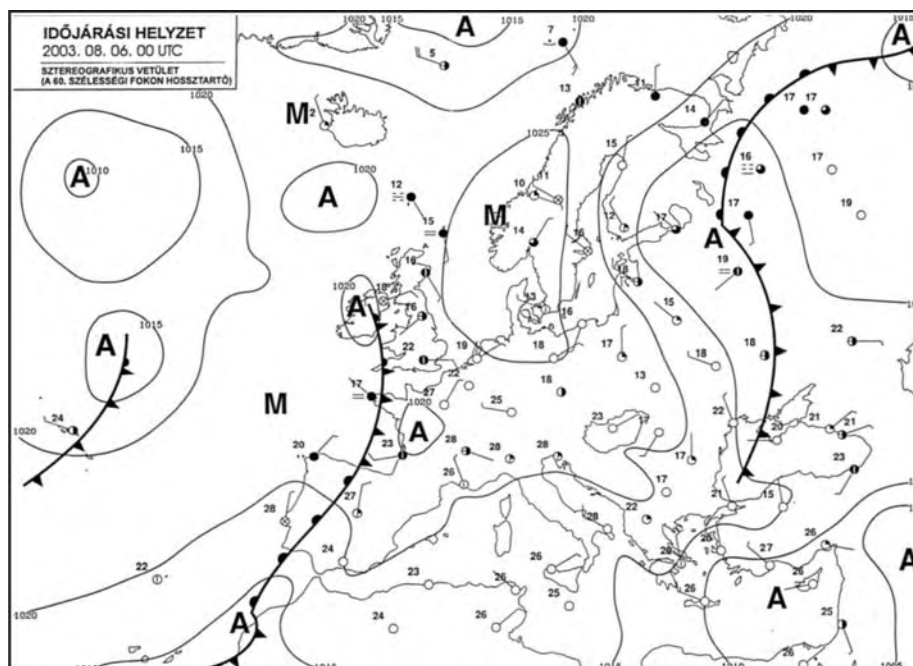
Az éjszakai órákban a tető szintjében tapasztalható erőteljes akadálytalan kisugárzásnak köszönhetően gyorsabb ütemben és alacsonyabb szintre csökken a fiziológiai terhelés szintje, mint a tereptárgyakkal körülvett felszínközeli helyzetekben. Az utca szintjében a felszíngeometria összetettsége csökkenti a kisugárzást (ennek köszönhető a 2.4. fejezetben bemutatott városi hősziget jelensége is), ez maga után vonja, hogy a bioklimatikus terhelés csökkenése is lassúbb ütemű. A PET értékek a tető szintjében 10,6 °C-ig csökkennek, míg a valós terepviszonyok között csak 15,1 °C-ig. Ez a fiziológiai terhelés mértékét nézve a hideg terhelés *mérsékelt* fokozatáról *enyhe* fokozatúra való csökkenését jelenti. Mindkét fiktív esetben a valósnál nagyobb SVF értékekből (kevésbé összetett a felszíni geometria) következően kisebbek az éjszakai PET minimumok (5.1.1. táblázat).

5.1.2. Második esettanulmány

A második esettanulmány során a 4.1.1. fejezetben bemutatott módon 2003. augusztus 06-án végeztünk mobil méréseket a 4.1.1.B ábrán látható 6 mérési pontban. A mérési pontok felszíngeometriai adottságait a 4.1.1. táblázat foglalja össze.

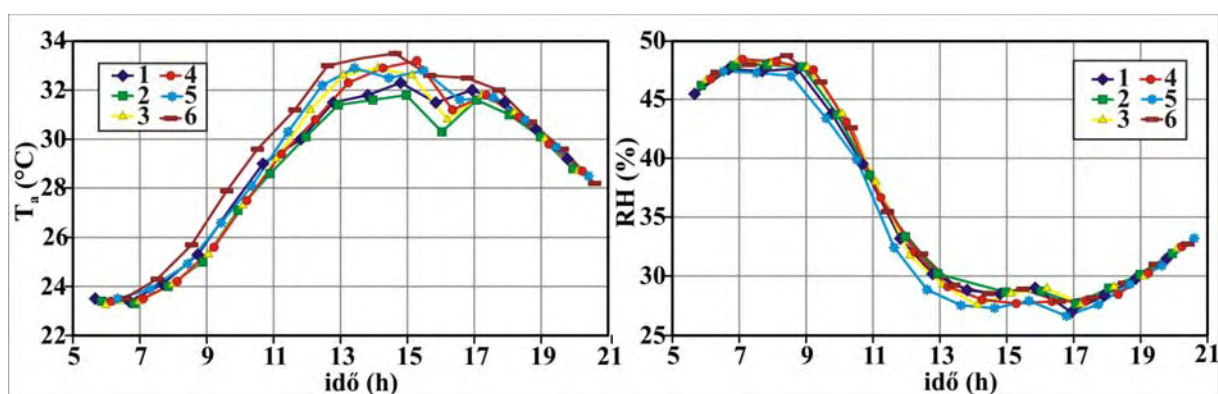
A mérések napfelkelte és naplemente között zajlottak, ezáltal lehetőség nyílt a megfigyelési terület összetett bioklimatológiai viszonyainak pontosabb elemzésére a nappali időszakban.

Az 5.1.8. ábra szerint a vizsgálat napján Közép-Európa egész területe fölött kialakult magasnyomású légköri képződménynek köszönhetően gyenge légmozgás mellett napos, meleg, száraz időjárás uralkodott Magyarországon is.



5.1.8. ábra Szinoptikus időjárási helyzet 2003. augusztus 06-án 00.00 UTC-kor (02.00 CET)

A 6 megfigyelési pontban az 1,1 m-es standard magasságban rögzített hőmérséklet és relatív nedvesség adatok jól jellemzik a mérési nap időjárási viszonyait a megfigyelési területen (5.1.9. ábra). A kérdéses nap szinte teljesen szélcsendes volt, a standard magasságban mért szélsébség szinte az egész nap során $0,5 \text{ ms}^{-1}$ alatt maradt. Ettől csak 16 óra körül tért el, egy fél órányi időtartamban gyenge szélerősödést mértünk ($v_{\max 1,1} = 1,4 \text{ ms}^{-1}$), ami a későbbiekben ismét $0,5 \text{ ms}^{-1}$ körüli értékre csendesedett.

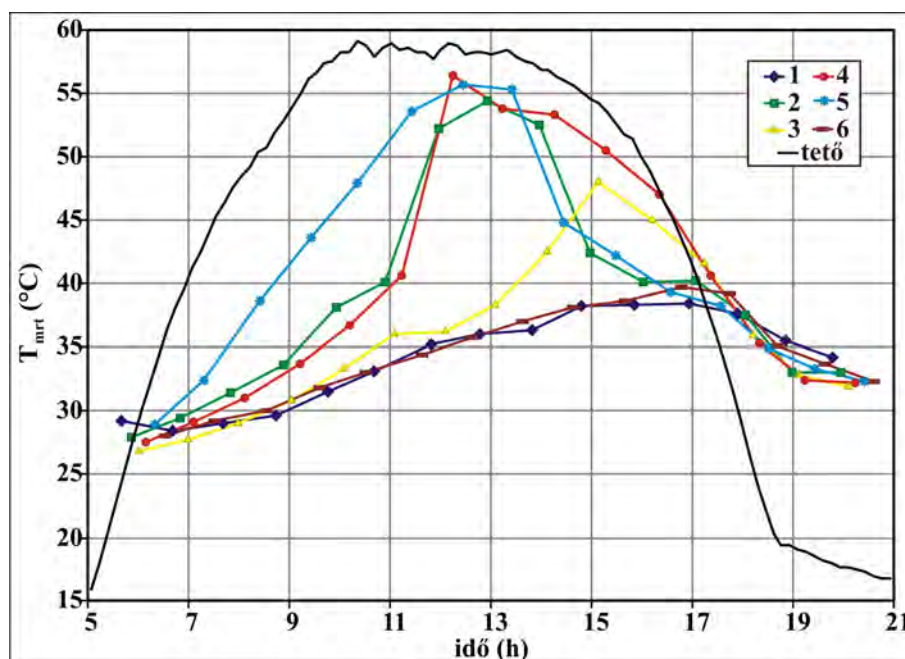


5.1.9. ábra A légkörhőmérséklet (T_a) és a relatív nedvesség (RH) értékek menete a hat mérési pontban 05:00 és 21:00 (CET) között 2003. augusztus 06-án

A T_a napfelkelte környékén valamennyi mérési pontban közel azonos értékről indult ($23,3$ – $23,5^\circ\text{C}$), majd a tiszta anticiklonális időjárásnak köszönhetően gyorsan emelkedett (5.1.9. ábra). A görbék lefutása nagyon hasonlóan alakult a nap során, az értékeit tekintve a kora délutáni órákban húzódott szét leginkább a „mezőny”. Abszolút maximumát a (5) mérőpontban rögzítettük ($33,5^\circ\text{C}$), de a maximális eltérés sosem volt nagyobb $1,7^\circ\text{C}$ -nál a mérőpontok kö-

zött. Egy kisebb, rövid ideig tartó, néhány tized fokos hőmérséklet visszaesést figyelhetünk meg 16 óra körül minden megfigyelési pontban. Ez valószínűleg a gyenge szélsébség növekedésnek köszönhető, amely elősegítette az átkeveredést a hűvösebb légrétegekkel, majd amikor ez az enyhe szél is lecsendesedett, újra valamelyest emelkedett a hőmérséklet minden pontban. Ezt követően a délutáni órákban naplementéig a T_a értékek görbéje együtt halad és a mérési periódus végére ismét szinte azonos hőmérséklet jellemezte mind a 6 pontot. Ezek az adatok jól összezsengenek korábbi városklimatikus vizsgálatok adataival, amelyek hasonló adottságú (felszíngeometria, kitettség) mikrokörnyezetekben vizsgálódtak (Nakamura and Oke, 1988).

A hőmérséklethez hasonlóan a relatív nedvesség értékek is igen hasonlóan alakulnak az egyes mérőpontokban és a görbék lefutása a hőmérséklettel éppen ellentétes (5.1.9. ábra). Itt is megfigyelhető az értékek a hőmérsékleti értékeknél tapasztaltnál is kisebb mértékű széthúzódása a déli órákban, illetve a délutáni néhány százalékos emelkedés és visszaesés. A mérési pontok között tapasztalt csekély különbségek azzal magyarázhatók, hogy a pontok között igen kicsi a távolság, a légnedvesség térbeli eloszlása pedig ilyen kis távolságon belül közel homogénnek tekinthető (Nunez and Oke, 1977).



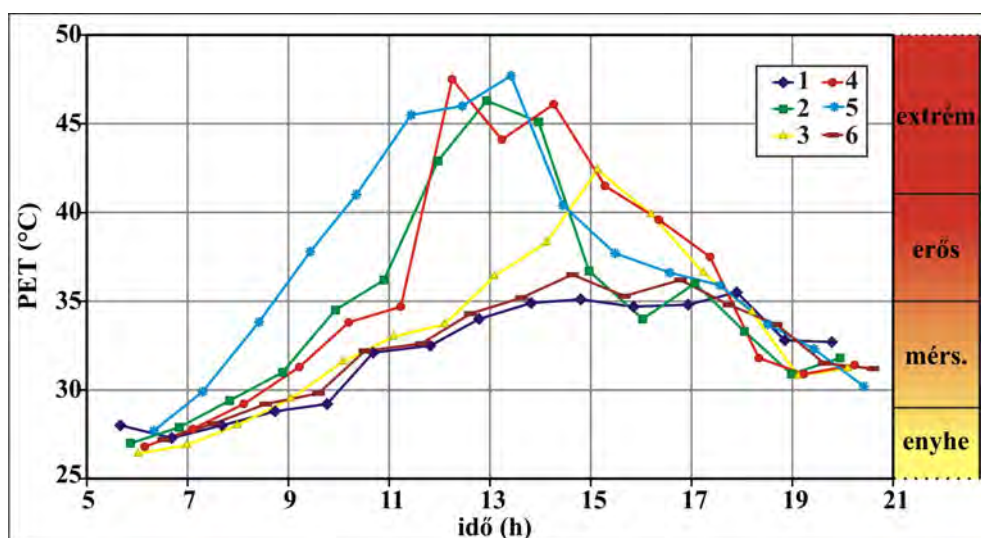
5.1.10. ábra A T_{mrt} menete a mintaterület hat mérőpontján (1-6) humán bioklimatológiai standard magasságban (1,1 m) és a tető szintjében (tető) 2003. augusztus 6-án 05:00 és 21:00 (CET) között

A sugárzási viszonyok elemzése a globálisugárzásból a RayMan modell által számított T_{mrt} értékek segítségével történik (5.1.10. ábra). A tető szintjére (felszíngeometriai korlátozástól mentesen) számított adatokból kitűnik, hogy az egész mérési nap során szinte zavarta-

lan napsütés mellett (csak a dél körüli órákban zavarja meg egy enyhe felhősödés) a reggeli minimumról (13,6 °C) indulva a déli órákban 59 °C-kal tetőzik a T_{mrt} értéke. A mérőpontok között azonban e tekintetben lényeges különbség tapasztalható. Az (1) és (6) állomásokon egész nap viszonylag alacsony értékeket rögzítettünk, a két pontot a nap során gyakorlatilag nem érte direkt sugárzás. Annak ellenére, hogy a két állomás két egymással párhuzamos tehát azonos irányú – de nem azonos utca – két különböző kitettségű oldalán helyezkedett el. Az (1) pont esetében ez elsősorban a tereptárgyak (20 m magas fákkal szegélyezett utcárészen található) árnyékoló hatásának ($SVF_1=0,06$), a (6) pont esetében pedig az északias kitettségnek és az épületek árnyékoló hatásának köszönhető ($SVF_6=0,16$).

A legnagyobb kilengést az (5) pont adatai mutatják, már röviddel napfelkelte után megugrik az értéke, majd 13 óráig fokozatosan emelkedik. Kora délután drasztikusan lecsökken, mert a mérőpont 14 óra után fák árnyékába kerül, később pedig már az épületek is leárnyékolják a direkt sugárzást. A (2) mérőhely szintén igen magas értékekkel jellemezhető, de itt az épületek magassága és közelsége hamarabb fejti ki árnyékoló hatását, a sugárzás időtartama sokkal rövidebb, hirtelen emelkedik, majd hirtelen csökken. A (3) pontban csak délután mérhető jelentősebb mennyiségű közvetlen sugárzás, ám ez is csupán néhány órára korlátozódik.

A humán komfort vizsgálatot a második esettanulmány során is standard paraméterekkel rendelkező átlagos vizsgálati alanyra vonatkoztattam (35 éves, 175 cm magas, 75 kg testtömegű, laza nyári ruházatot viselő, könnyű ülő munkát végző - metabolikus hőtermelése az alapanyagcserén felül 80 W- férfi).



5.1.11. ábra. A PET értékek menete a mintaterület hat mérőpontjában (1-6), humán bioklimatológiai standard magasságban (1,1 m) 2003. augusztus 6-án (CET)

Mivel az előző vizsgálatból kitűnt, hogy a PET és a PMV értékek mozgása szorosan követi egymást (és a T_{mrt}) menetét, e második esettanulmány során elegendőnek tartom a

bioklimatikus viszonyok elemzéséhez csak a *PET* index vizsgálatát. Az 5.1.11. ábra az index futását mutatja a mérési napon a különböző pontokban, az 5.1.2. táblázat pedig az egyes mérőpontok átlagos, maximum, minimum *PET* értékeit és az index vizsgált időszakra vonatkozó amplitúdóját.

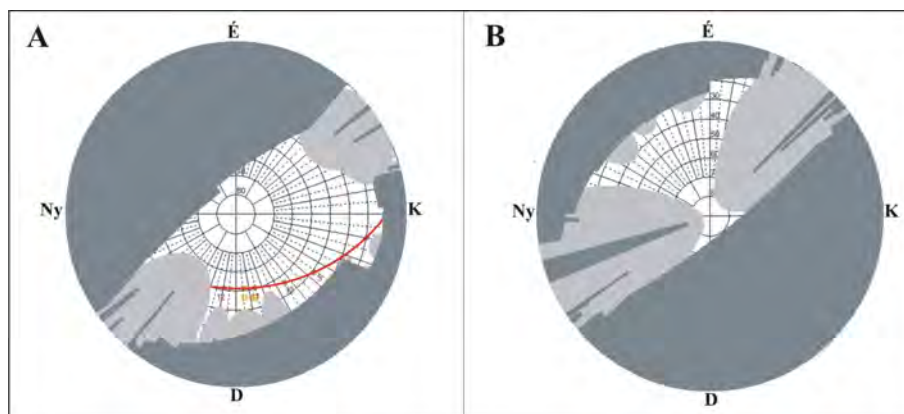
5.1.2. táblázat A *PET* index átlagos, maximum és minimum értékei (°C), illetve amplitúdója az egyes mérőpontokban (2003. augusztus 06., 5.30-20.30 CET között)

	<i>PET</i> _{átl}	<i>PET</i> _{max}	<i>PET</i> _{min}	<i>PET</i> _{ampl}
1	32,0	35,5	27,3	8,2
2	34,9	46,3	27,0	19,3
3	33,3	42,4	26,4	16,0
4	35,1	46,1	26,8	19,3
5	37,1	47,7	27,7	20,0
6	32,5	36,5	27,2	9,3

Az eredmények szerint a vizsgálati nap reggelén a termikus terhelés már minden pontban túllépte a komfortos hőérzet határát, azaz már napfelkelte idején is gyenge hőstressz volt tapasztalható ($26,4\text{ °C} \leq PET_{\min 1-6} \leq 27,7\text{ °C}$). A nap folyamán a terhelés mértéke természetesen minden pontban nő, ám igen nagy különbségek mutathatók ki az egyes pontok között. A legmarkánsabb emelkedést és az abszolút értéket tekintve is a legmagasabb terhelést ($PET = 47,7\text{ °C}$) az (5) pontban tapasztaltuk. Ez a hőérzet szempontjából a nagyon forró, a fiziológiai stressz szintet tekintve az extrém terhelési határt is jóval túllépi. Az (5)-ös ponthoz hasonlóan DK-ies kitettségű (2) pontnál is túlhaladta a maximális terhelés az extrém hőstressz küszöbértékét, de a terhelő hatásoknak itt sokkal rövidebb ideig volt kitéve a szervezet, kora délután gyors csökkenés (a többi mérőponton tapasztalható csökkenés mértékét is meghaladó) figyelhető meg. Azoknál a megfigyelési pontoknál – (1) és (6) –, ahol a nap folyamán nem (vagy alig) éri a képzeletbeli kísérleti alanyunkat direkt sugárzás, a hőterhelést kifejező index-értékek jóval alacsonyabbak és az amplitúdójuk is kisebb. A terhelés mértéke ezekben a pontokban a legterhelebb délutáni időszakban is „csak” az erős fiziológiai stressz határát lépi át.

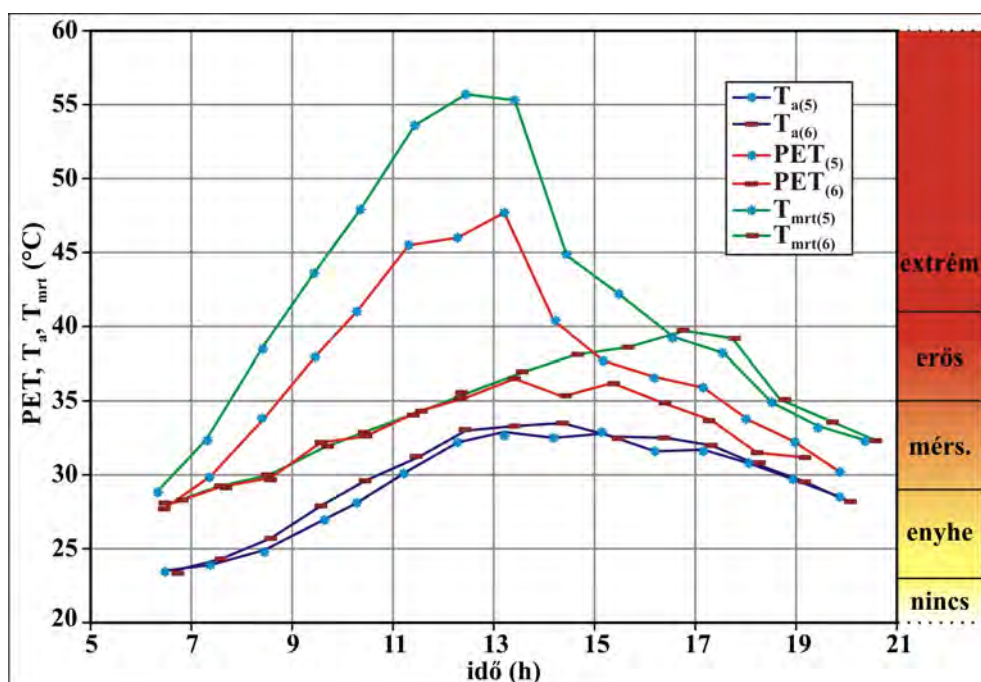
A kis területen tapasztalható markáns különbségek szemléletesebbé tételére kiválasztottam két, egymástól kis távolságra (25 m), lévő mérési pontot – (5) és (6) –, ugyanazon utca két oldalán, azaz eltérő kitettségi adottságokkal.

Az 5.1.12. ábra a modell grafikus kimeneteként kapott halszem optika jellegű képet mutatja be ebben a két pontban, amelyen jól követhető a Nap pályája (piros vonal) a mérési napon, valamint a sugárzási viszonyokat befolyásoló mesterséges és természetes tereptárgyak (épületek, fák) elhelyezkedése a pont körül illetve ezek árnyékoló hatása.



5.1.12. ábra Az (5) és a (6) mérőpont felett látható 360°-os panoráma (halszem-optika jellegű) kép

Az (5) pontot DK-i kitettsége miatt főleg ÉNy-ről határolják épületek, amelyek csupán a késő délutáni órákban okozhatnak árnyékolást. A direkt sugárzás ellen a nap első felében csak a fák lombkoronája jelenthet védelmet. Az ábrából az is jól látszik, hogy közvetlenül a mérőpont felett nincs fa, így délig szinte teljesen védtelen ez az utcaszakasz, csak kora délután kerül takarásba. A DK-i kitettség és a nyílt terep ad magyarázatot az extrém sugárzási értékekre és a hatásukra kialakuló igen magas hőterhelésre.



5.1.13. ábra Az (5) és (6) mérőpontok bioklimatikus terhelésének összehasonlítása a T_a , a T_{mrt} és a PET index segítségével 2003. augusztus 06-án (CET)

Az 5.1.13. ábrán megfigyelhető, hogy a két pont hőmérsékleti (T_a) értékei között elegendő a különbség a nap folyamán. A hőterhelés szintje szinte egyenlő mértékről (az enyhe hőstressznek megfelelő PET értékekről) indul, köztük a különbség 10% alatti. A déli, kora délutáni időszakra azonban ez a különbség 60%-ra nő. Ez a fiziológiai terhelés szintjében két

fokozatnyi különbséget jelent, a (6) pontban mérsékelt és az *erős* stressz határán, az (5) esetén pedig már a reggeli órákban átlépi az *erős* fokozatú fiziológiai terhelés mértékét és késő délutánig fölötte is marad. A déli - kora délutáni órákban pedig jóval felülmúlja az *extrém* terhelési szintet.

Tehát ugyanazon utca két oldalán ilyen jelentős a bioklimatikus terhelésbeli eltérés mutatható ki, amely még a vizsgált időszak egészének átlagát tekintve is egy kategória különbséggel terhelőbbé teszi az (5) pontot.

Hasonló fiziológiai stresszbeli különbség figyelhető meg a nap során az (1) és a (2) mérőpontok között is, noha a két pont kitettsége azonos. Ez esetben a fő felszíngeometriai eltérés a pontok között az (1) pontot körülvevő fás vegetáció, amely a pontot egész nap árnyékolja. Itt tehát elsősorban ennek köszönhető a nap legterhelőbb óráiban a két kategóriányi különbség (5.1.11. ábra).

A késő délutáni időszakban (18:00 óra után), alacsony napmagasságnál, amikor a pontok egyikét sem éri már direkt sugárzás, érdekes jelenség figyelhető meg. A (2)-től (5)-ig terjedő pontok *PET* index csökkenési üteme felülmúlja az (1) és a (6) pontokét. Az (1) pontban jóval később indul meg a terhelés csökkenése, mint a többiben és az üteme is a leglassabb. A mérés befejeződésekor már ez a pont jelenti a legterhelőbb környezetet kísérleti alanyunk szervezete számára. Ez valószínűleg összefüggésbe hozható azzal, hogy ez a mérőpont jellemezhető a legkisebb *SVF* értékkel (0,06) és amíg a többiekénél a nyitottabb felszíngeometriai sajátosságoknak köszönhetően a hosszúhullámú kisugárzás hatékonyabb, azaz gyorsabb ütemben képes mérsékelni a szervezetet érő stresszhatást, addig az (1) pontban a kisugárzás erősen akadályozott (5.1.11. ábra).

5.1.3. A mikro léptékű vizsgálatok során levonható következtetések

A mikro léptékű vizsgálatokból kitűnik, hogy összetett városi környezetben a mikroklimatikus adottságokból adódóan az emberi szervezetet pontról pontra különböző fiziológiai stressz éri. Ez elsősorban (különösen a vizsgált nyári időszakban) a sugárzási viszonyok módosulásából adódik. A tereptárgyak (épületek, fás vegetáció) által létrejött komplex felszíni geometria jelentősen befolyásolja a sugárzási fluxust, mint az emberi energia egyenleg legjelentősebb tényezőjét. Megváltozott energetikai viszonyok pedig megváltozott hőérzetet eredményeznek. Leegyszerűsítve tehát, a nappali órákban az emberi komfort érzetet elsősorban az határozza meg, hogy éri-e a testet direkt sugárzás, ezért az erre ható módosító tényezők lesznek a legfontosabb szabályozó faktorai a szervezetet ért fiziológiai terhelésnek is. Két tényező gyakorol erre alapvető hatást. Az egyik inkább egy „tényező csoport”, amely a területet körülvevő épületek elhelyezkedésével függ össze. Paraméterei az utca iránya, a tartózkodási

pont kitettsége, az égboltláthatóság (*SVF*) és a *H/W* arány. Ezek függvényeként a nyári időszakban a nappali órákban a magasabb *H/W* és az alacsonyabb *SVF* értékek jótékony hatással vannak a humán komfort viszonyokra. Ha mindez azonban délies kitettséggel párosul, akkor ez esetben az épületek elhelyezkedése kevésbé hatékony árnyékolást okoz. Természetesen „öröklött” (régóta fennálló) városszerkezet esetén ezek a tényezők alig módosíthatók, így a várostervezés számára ebben a megközelítésben nagyon korlátozott eszközök állnak rendelkezésre a humán bioklimatikus viszonyok javítására. Ekkor juthat nagyobb szerep a második tényezőnek, a fás vegetációnak. A vegetáció városklímára (a mikro- és lokális klimatikus viszonyokra), valamint levegőtisztasági viszonyokra gyakorolt hatását széles körben vizsgálják (pl. Bernatzky, 1982; Givoni, 1997; Bruse, 2003, Ali-Toudert, 2005). Ezen belül is a kutatók gyakran a városi hősziget és a vegetáció kapcsolatára irányulnak, vagy arra, hogy egy épület energia felhasználására milyen hatással van a környező fás vegetáció (pl. Avissar, 1996, Carver et al., 2004; Giridharan et al., 2008).

Ez idáig azonban kevés azon vizsgálatok száma, amelyek azt értékelik, hogy a vegetáció milyen hatással van ugyanezen skálán a kültéri humán komfort viszonyokra. A vizsgálatok jó része abból a szempontból vizsgálja csak a kérdést, hogy hogyan függ a komfortra gyakorolt hatás a zöldterület méretétől (Gómez et al., 2004; Matzarakis, 2008).

Annak ellenére, hogy a sűrű beépítettségű városi területen a fás vegetáció olykor nagyon kis területekre (kisebb belvárosi parkok, útmenti fasorok) korlátozódik, ezek humán bioklimatikus jelentőségét hiba volna alábecsülni. A korábbi városklíma kutatásokban számos fás vegetáció általi módosító hatást (árnyékhatás, légnedvesség módosító hatás, szélesebb csökkentés) vizsgáltak (pl. Bernatzky, 1982; Matzarakis, 2008). Ezek mellett – valójában éppen ennek következményeképpen – a fás vegetációnak jelentős humán komfort módosító hatása is van. Vizsgálatainkból kitűnik, hogy azonos épületgeometriai környezet esetén nagyságrendekkel csökkenteni képes a fiziológiai terhelés mértékét nappal. Ez ilyen kis skálán tekintve nem a zöldfelület méretével, hanem az egyes fák közvetlen árnyékoló hatásával függ össze. Tehát a megfelelő látásmóddal történő zöldfelületi rendszer-tervezés, amely az esztétikai és levegőtisztasági szempontok mellett a humán bioklimatológiai tényezőket is figyelembe veszi, jelentősen befolyásolhatja egy adott terület humán komfort viszonyait.

Nélkülözi például az efféle szempontokat a tervezés során a délies kitettségű homlokzatok, parkterületek olyan idősebb korában is kicsi vagy keskeny lombátorral rendelkező fajokkal történő fásítása, mint például az oszlopos juhar (pl. *Acer platanoides* *Crimson Sentry*) (5.1.14. ábra). Az ilyen tulajdonságokkal rendelkező fajok azonban sikerrel alkalmazhatók nagyon keskeny utcák sugárzási viszonyainak kedvező irányú befolyásolására a kritikus nyári időszakban.



5.1.14. ábra Kifejlett oszlopos juhar (*Acer platanoides* *Crimson Sentry*) (A) és nyugati platán (*Platanus occidentalis*) (B) lombkoronájának árnyékoló hatása közötti különbség (Forrás: www.jardindupicvert.com)

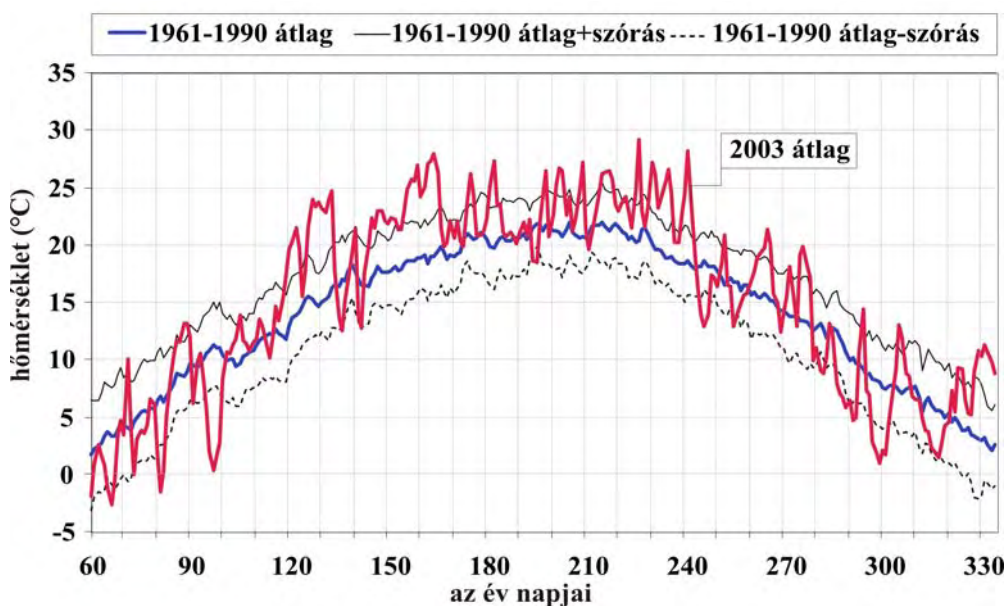
A mikro léptékű vizsgálatok során láthattuk, hogy a lombkorona mérete egyértelmű hatással van a humán komfort viszonyokra, mert minél kiterjedtebb, annál hosszabb ideig képes leárnyékolni a direkt sugárzást. A megfelelő lombhullató fák körültekintő alkalmazása azzal az előnnyel is jár, hogy a nyári időszakban hatékony direkt sugárzás elleni védelem után télen (lombmentes állapotban) javítja a humán komfort szituációt a sugárzás nagyobb mértékű átengedésével. Ugyanakkor nem célszerű például az örökzöldekkel való fásítás olyan északi kitettségű homlokzatok közelében, ahol a kedvezőtlenebb bioklimatológiai adottságokat tovább rontja az egész évben fennálló direkt sugárzási árnyékolás.

Fontos megemlíteni, bár a vizsgálat jellege miatt nem terjedhetett ki ebbe az irányba, de korábbi szakirodalmi adatokból ismert, hogy a fás vegetáció a sugárzási viszonyokon kívül a légáramlási viszonyokra is hatással van. A felszíni érdesség megnövekedésével csökken a felszín közelében a szélesebbség (pl. Bruse, 2003). Ez minden esetben csökkenti a hőleadási folyamatok intenzitását, ami nyári időszakban némileg rontja a humán komfort viszonyokat. (Ez a hatás viszont lényegesen kisebb annál a jótékony hatásnál, ami ebben az évszakban a sugárzás módosítása révén bekövetkezik). A szélesebbség csökkenése télen viszont kifejezetten előnyös lehet humán bioklimatológiai szempontból.

5.2. A lokális léptékű vizsgálatok során kapott eredmények

A lokális léptékű vizsgálat során egy város (Szeged) lokális (és mezo) klimatikus viszonyokra gyakorolt módosító hatásának humán bioklimatológiai aspektusát mutatom be. A módszer a városklímában is alkalmazott gyakorlat szerint két (a 4.2.1. ábrán bemutatott) eltérő adottságú mérőpont karakterisztikáját elemzi, jelen esetben humán bioklimatológiai szempontból. A két pont közül a sűrű beépítettségi adottságokkal rendelkező belvárosi területen elhelyezkedő („urbán”) pont reprezentálja a városi módosító hatást, a gyakorlatilag horizontkorlátozástól mentes mezőgazdasági művelés alatt álló külterületen elhelyezkedő pedig a városi hatásoktól mentes („rurál”) környezetet. A két pont hosszabb távú időjárási adataiból számított humán bioklíma index (*PET*) segítségével jellemzem azt a fiziológiai stressz szintjén jelentkező különbséget, amihez a városban élők szervezetének alkalmazkodnia kell.

A vizsgálat a 2003. márciusa és novembere közötti időintervallumot öleli fel, mint a szabadtéri aktivitás szempontjából legfontosabb időszakot. 2003 nyarán hőhullám söpört végig Európán, amely Magyarországon is éreztette hatását (Sch. Kriston és Schlanger, 2003; Díaz et al, 2006).



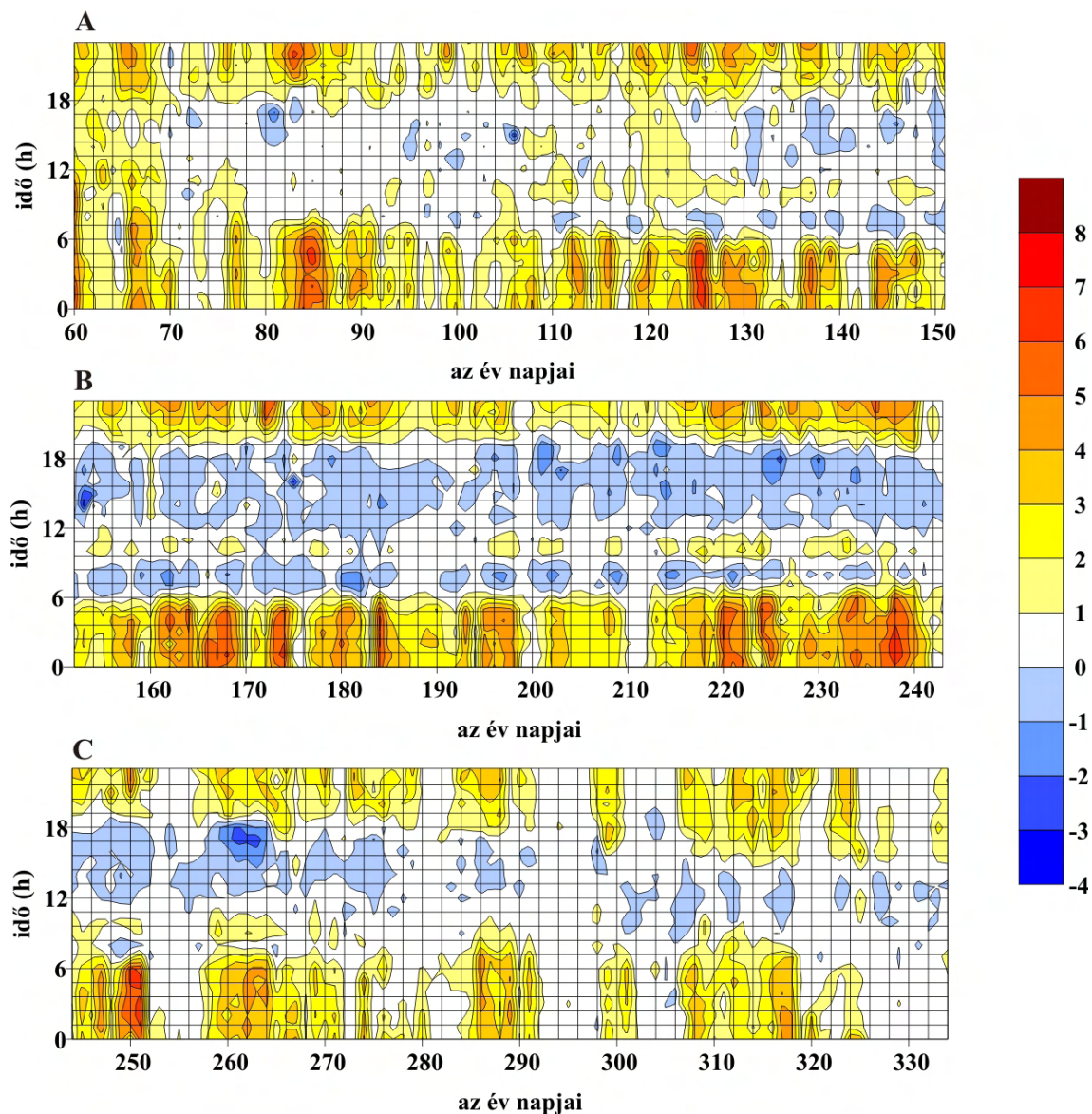
5.2.1. ábra 1961-1990 és 2003 március és november közötti időszak napi hőmérsékleti átlagértékei (OMSZ, 2008)

Az 5.2.1. ábrán látható, hogy 2003-ban az átlagosnál jóval melegebb volt a május első fele, majd a nyári hónapokban főleg a júniusi és az augusztusi átlagértékek haladták meg a referencia időszak (1961-1990) átlagát. Az ilyen makroklimatikus viszonyok valószínűsíthetően

maguk után vonják a humán bioklimatikus viszonyok romlását is, fokozott megterhelést róva az emberi szervezetre, különös tekintettel az olyan módosított környezetben, mint a városi.

5.2.1. Az időjárási elemek jellemzése

A két megfigyelési pontban rögzített meteorológiai adatok alapján összehasonlíthatjuk a két különböző terület időjárásának karakterisztikáját évszakos bontásban. Az egyes meteorológiai adatokból képzett delta (urbán-rurál) értékek izoplétáinak elemzéséből jól kivehetők a városklíma klasszikus alapjelenségei.



5.2.2. ábra A városi (T_{a_u}) és a városon kívüli (T_{a_r}) terület órás átlaghőmérsékletének különbsége ($\Delta T_a = T_{a_u} - T_{a_r}$) 2003 tavaszán (A), nyáron (B) és ősszel (C) (°C), az y tengelyen az idő UTC-ben értendő

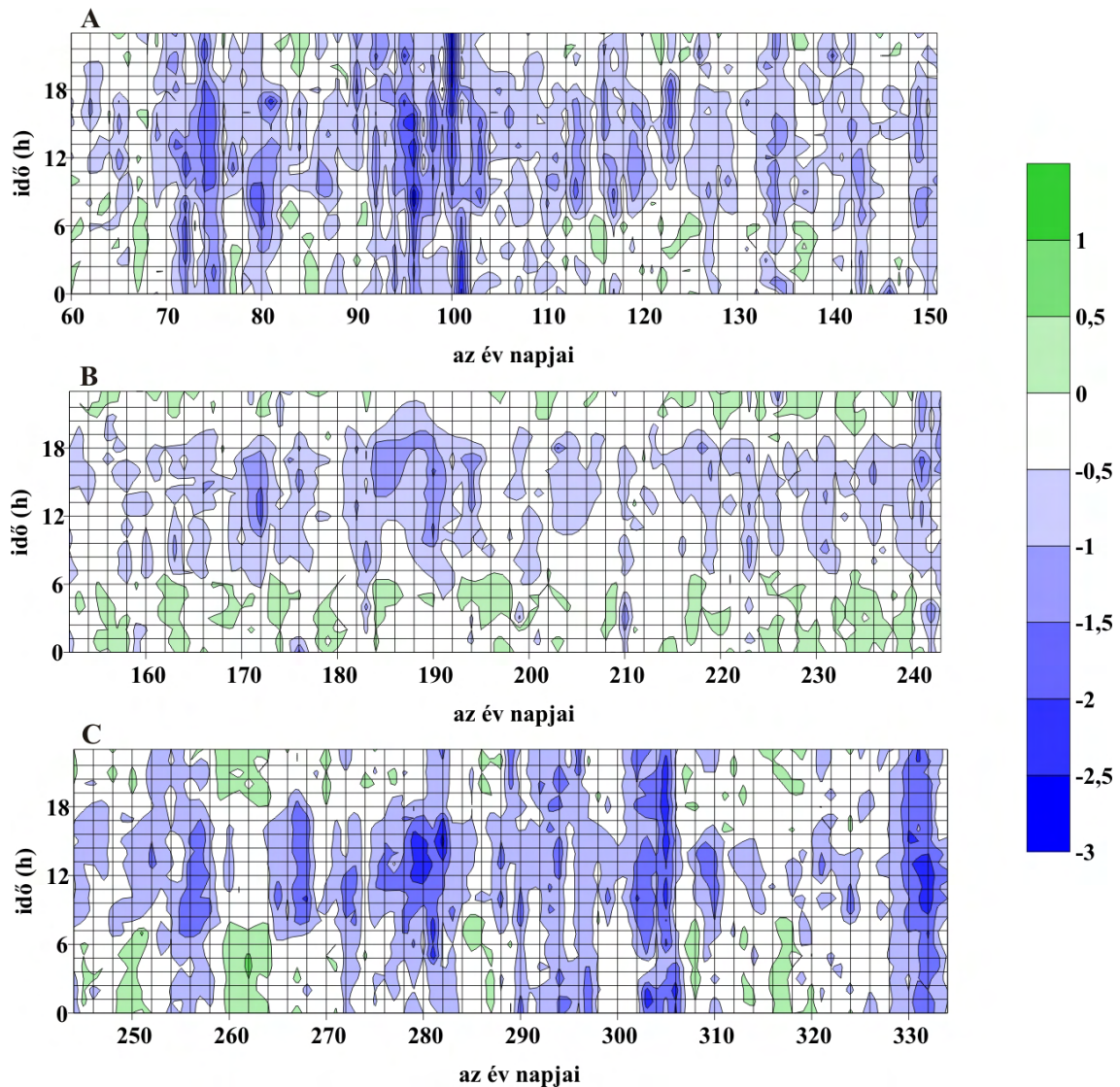
Az 5.2.2. ábra a két terület között tapasztalható hőmérsékleti különbséget ábrázolja évszakos bontásban órás átlagadatokat alapján. A legszembevetőbb az éjszakai városi hőtöbblet, a városi hősziget jelensége, amely minden évszakban tapasztalható, de a legerőteljesebben a

nyári és a kora őszi időszakban alakul ki. Az éjszakai hősziget intenzitása néhány napos periódusokban felerősödik, illetve lecsökken (ez általában a fronttevékenységgel hozható összefüggésbe), kivéve augusztusban (212.nap-242.nap), amikor szinte egész hónapban igen intenzív. Korábbi szakirodalmi adatoknak megfelelően, ahogyan arra a 3.2.2. fejezetben is utaltam, a vizsgált időszakban a hősziget kifejlődésre különösen „alkalmas” frontmentes, nyugodt, anticiklonális időszakban a hősziget intenzitása eléri a 7 °C-ot is (Unger, 1992; Unger, 1997b). Az őszi előrehaladtával jól láthatóan csökken a hősziget erőssége is és azon időszakok hossza is, amikor a kifejlődésére lehetőség van.

Az előbbiekkal ellentétes jelenség a napközbeni alacsonyabb hőmérséklet a városi területen. Ez leginkább nyáron tapasztalható, mértéke (2-3 °C) viszont messze elmarad az éjszakai hőtöbblettől. Ennek oka a nyári erőteljes sugárzással magyarázható, ami a rurális területen akadálytalanul eléri a felszínt, igen magasra emelve ezzel a hőmérsékletet, míg a városban az összetett felszínborítás árnyékoló hatása a közvetlen direkt sugárzás lecsökkentésével valamilyen mértékben a hőmérséklet emelkedését is mérsékli. A kora tavaszi és a késő őszi időszakban ez a jelenség nem, vagy alig kimutatható. Az őszi előrehaladtával egyre inkább elmosódnak a városi és a városon kívüli területek közötti hőmérsékleti különbségek.

A szélesebbeségben tapasztalható különbségek rámutatnak arra, hogy a városi környezetben szinte évszaktól függetlenül a nap túlnyomó részében kisebb a szél (5.2.3. ábra). Ez nyilvánvalóan a beépítettségéből és növényzetéből adódó nagyobb városi érdességnek köszönhető. Elsősorban a nyári időszakban (tavasszal és ősszel csak elvétve) az éjszakai órákban azonban megfigyelhető egy enyhe szélesebbesség növekedés (max. 0,5-1 ms⁻¹) a városi területen, ami összecseng azokkal a szakirodalmi adatokkal, amelyek ezt a hősziget kialakulással hozzák összefüggésbe (Lee, 1979; Probáld, 1981).

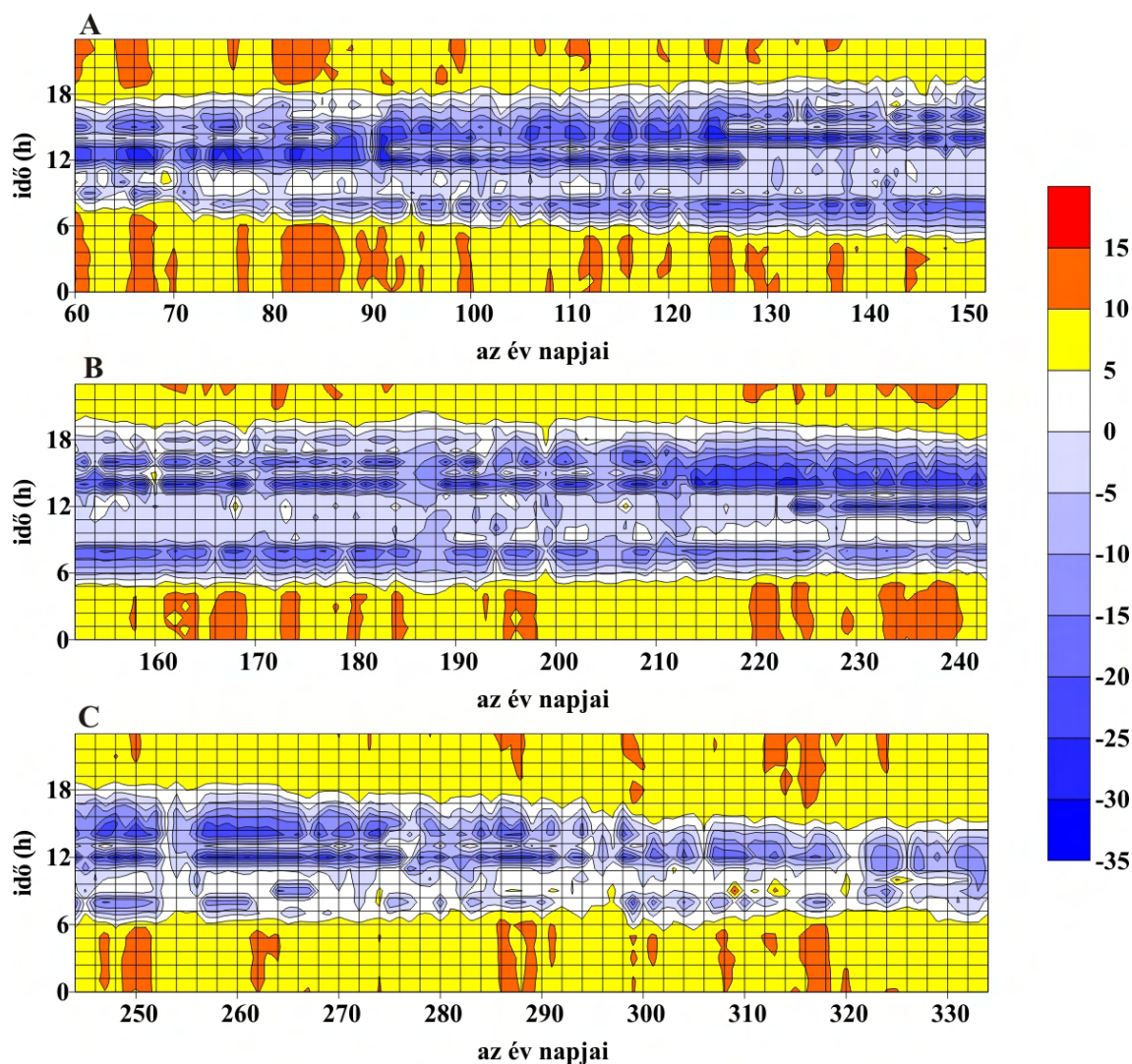
Míg ez a jelenség a tavaszi és az őszi időszakban alig figyelhető meg, addig a napközbeni városi csökkent szélesebbesség az egész vizsgált periódusban kimutatható. A különbség mértéke akár a 2-3 ms⁻¹-ot is elérheti, ám a nyári időszakban kisebb, mint tavasszal és ősszel.



5.2.3. ábra A városi (v_u) és a városon kívüli (v_r) terület órás átlagszélsebességének különbsége ($\Delta v = v_u - v_r$) 2003 tavaszán (A), nyáron (B) és ősszel (C) (ms^{-1}), az y tengelyen az idő UTC-ben értendő

A sugárzási viszonyok elemzése (T_{mrt} segítségével) során láthatjuk, hogy a városi környezetben igen jelentős nappal a csökkenés a tereptárgyak árnyékoló hatásának köszönhetően, ami elérheti a 30-35 °C-ot is (5.2.4. ábra). A különbség ősz elejéig a legnagyobb, onnantól kezdve fokozatosan csökken, ahogyan a sugárzás intenzitása is egyre csökken ebben az évszakban.

Éjjel az egész vizsgált periódusban valamivel magasabb T_{mrt} értékek jellemzik a városi területet (kb. 5-15 °C T_{mrt} különbség), ami értelemszerűen az itteni kisebb SVF-nek és ennek következtében a kisebb hosszúhullámú sugárzási veszteségnek tulajdonítható.

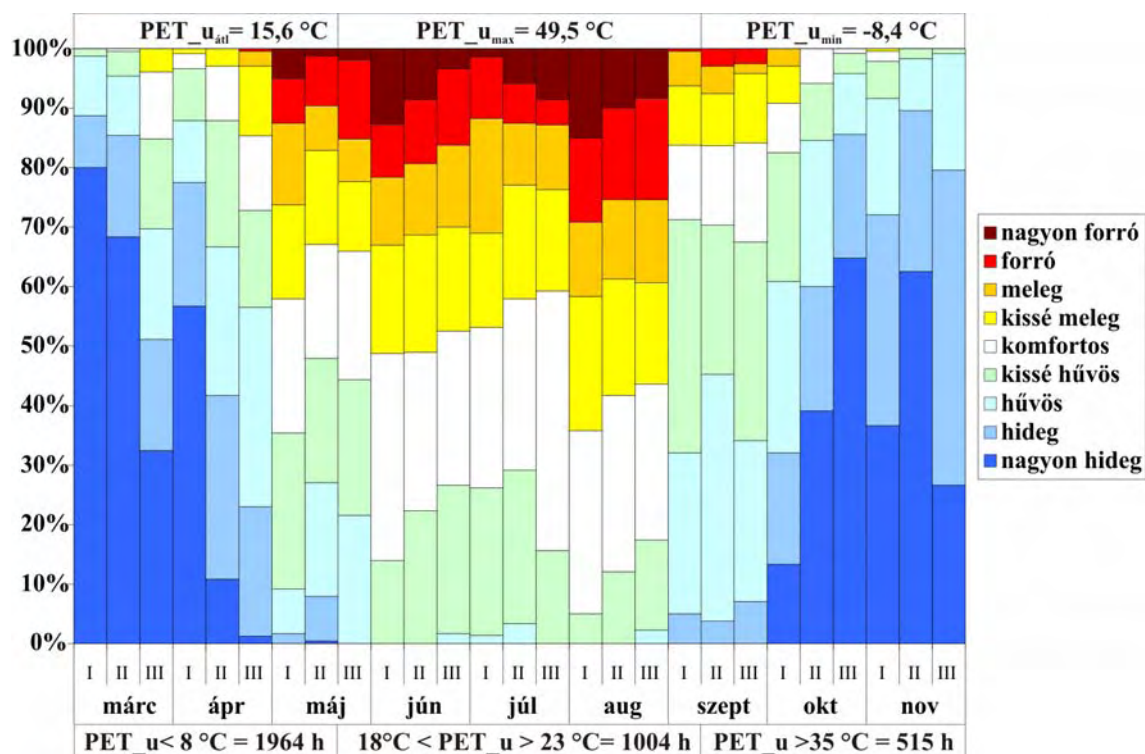


5.2.4. ábra A városi (T_{mrt_u}) és a városon kívüli (T_{mrt_r}) terület órás átlag T_{mrt} értékeinek különbsége ($\Delta T_{mrt} = T_{mrt_u} - T_{mrt_r}$) 2003 tavaszán (A), nyáron (B) és ősszel (C) (°C), az y tengelyen az idő UTC-ben értendő

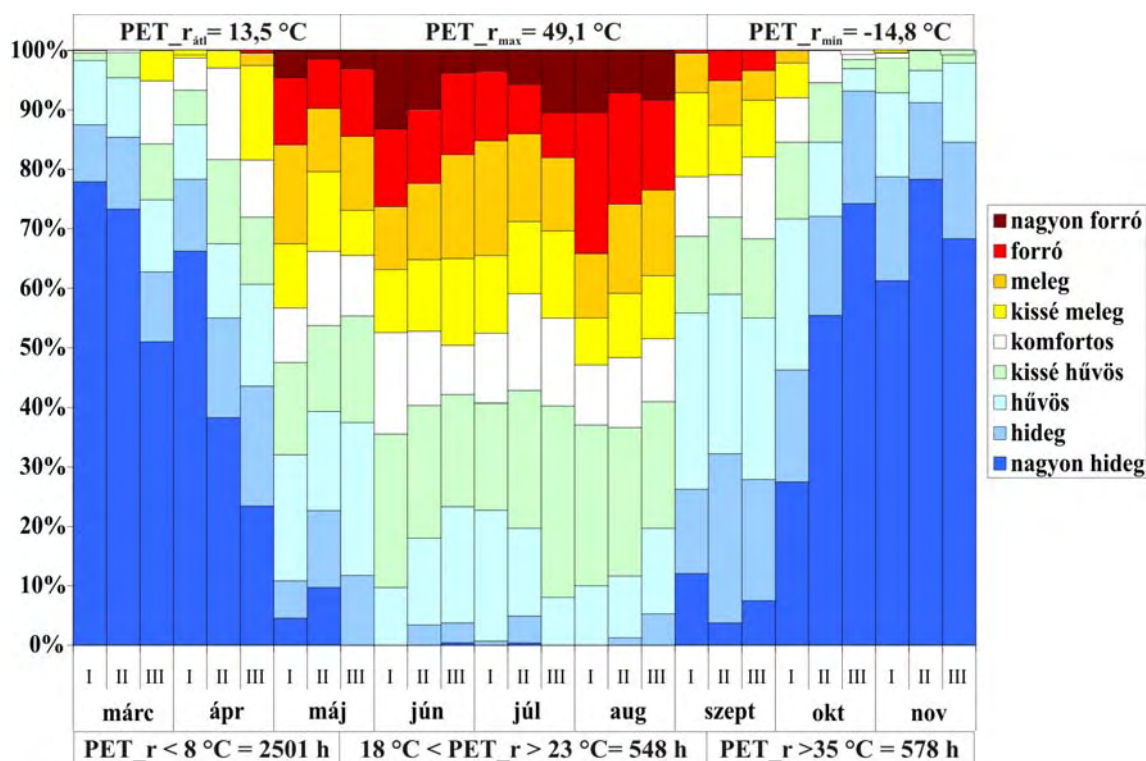
5.2.2. A bioklimatikus viszonyok jellemzése

Elsőként a vizsgált időszak órás *PET* átlagainak gyakorisági eloszlásában tapasztalható különbségeket elemzem a két mérőpont esetén (5.2.5. és 5.2.6. ábrák).

A vizsgált periódus egészét tekintve a két mérőpont átlagos *PET* értékében 2,1 °C-os különbség mutatható ki a városi terület javára. A maximális *PET* a városi területeken csak csekély mértékben (0,4 °C) magasabb, mint a városon kívül, a minimum értékekben azonban sokkal jelentősebb a különbség (6,4 °C) az urbánus terület javára.

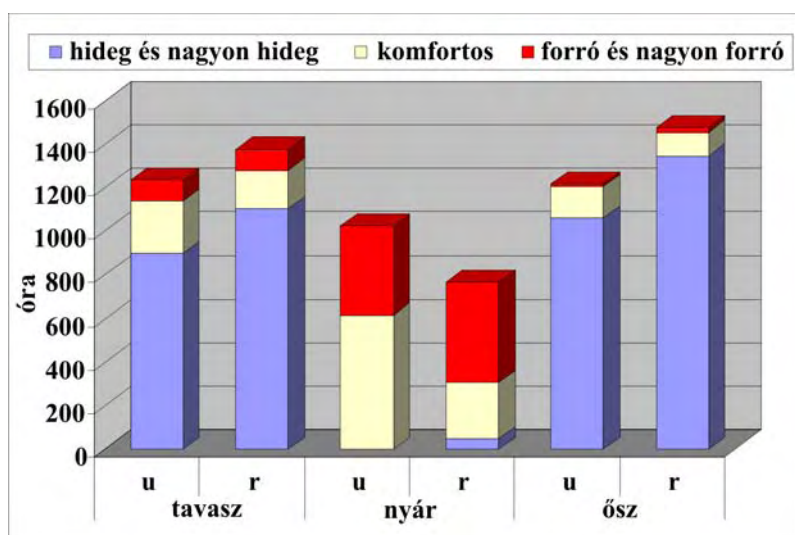


5.2.5. ábra A hőérzeti kategóriák gyakorisági eloszlása (a *PET* index órás átlagértékei alapján) a városi (*u*) mérőpontban 2003 március és november között, 10 napos intervallumokat tekintve



5.2.6. ábra A hőérzeti kategóriák gyakorisági eloszlása (a *PET* index órás átlagértékei alapján) a városon kívüli (*r*) mérőpontban 2003 március és november között, 10 napos intervallumokat tekintve

A szélsőséges hőérzeti kategóriákba tartozó órák száma mind a meleg, mind pedig a hideg szélsőségek esetén a rurális területen magasabb. Ám míg a forró és nagyon forró kategóriákba tartozó időszak hossza között a teljes időszakhoz viszonyítva csak kb. 1%-os az eltérés, addig a hideg és nagyon hideg kategóriáknál ez a különbség 8%. Vagyis megállapítható, hogy a város klimatikus módosító (mérséklő) hatása a bioklimatikus viszonyok szempontjából elemezve a nagyon erős fiziológiai terheléssel járó hideg időszakokban sokkal jelentősebb, míg kis mértékben a meleg stressz-szel jellemezhető időszakok hosszát is redukálja. A komfortos hőérzeti kategóriába tartozó időszakok hossza ugyanakkor az egész vizsgált időszakon belül mintegy kétszerese az urbánus területen. Vagyis a *PET* értékek általános gyakorisági elemzéséből az a kép rajzolódik ki, hogy a városnak a bioklimatikus viszonyokra kifejtett hatása általában mérséklő és kiegyenlítő. Hogy ez évszakosan ugyanolyan mértékű-e és fiziológiai értelemben pozitívnak vagy negatívnak tekinthető, ahhoz további, részletesebb elemzés szükséges.

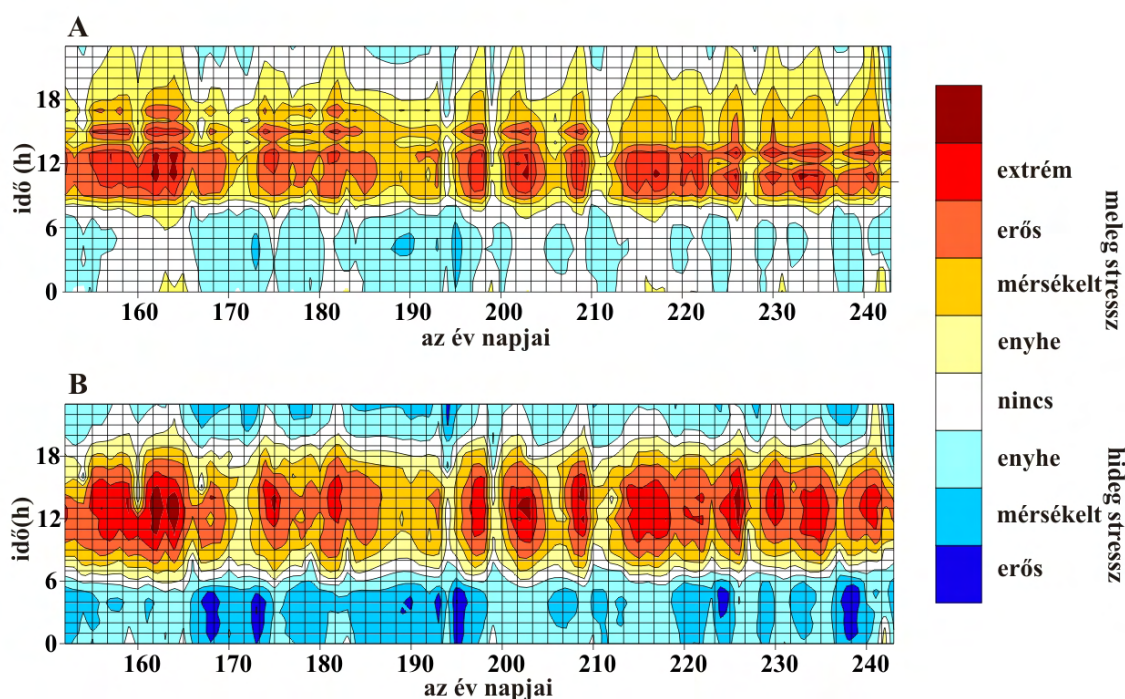


5.2.7. ábra A komfortos és a szélsőségesen hideg illetve meleg hőérzeti kategóriák évszakos megoszlása a városi (u) és a városon kívüli (r) területeken

Ha a szélsőséges és a komfortos hőérzeti kategóriákba tartozó időszakok hosszának elemzését évszakos bontásban is elvégezzük, akkor a kép némileg módosul (5.2.7. ábra).

Évszakos bontásban a városi módosító hatás őszzel és tavasszal sokkal kiegyenlítettebb a különböző kategóriák között: kis mértékben csökkenti az extremitásokat és növeli a komfortos időszak hosszát. Nyáron azonban sokkal jelentősebb a gyakorisági eloszlására kifejtett városi módosítás. A szélsőségesen meleg kategóriában megfigyelhető csökkenés mellett a legkifejezettebb a komfortos kategóriába tartozó időszak hosszának jelentős megemelkedése. Ezt a látszólag kedvező bioklimatikus hatást a továbbiakban részletesebben, napszakos bontásban elemzem.

Az 5.2.8. ábra a nyár kiragadott példáján keresztül mutatja be a két területen a *PET* index órás átlagainak napi eloszlását. A nyár során nappal igen jelentős bioklimatikus terhelés érte mind a városi mind pedig a külterületen élők szervezetét. Az extrém és erős fiziológiai terhelés kategóriájába eső értékek jellemzik a június első felét (150.-165. nap) és szinte az egész augusztust (210.-240. nap), de néhány napos periódusokban július folyamán is előfordulnak. A napi menetet vizsgálva megállapítható, hogy a terhelés mértéke a rurális területen hamarabb, már a kora reggeli órákban eléri ezeket az extrém értékeket a horizontkorlátozás nélküli, akadálytalan sugárzásnak köszönhetően. A késő délelőtti, kora délutáni órákban a terhelés mindkét területen tartósan magas marad. A délután előrehaladtával viszont a városi területen a hőstressz mértékének csökkenése sokkal lassabb, a folyamat elhúzódóbb.

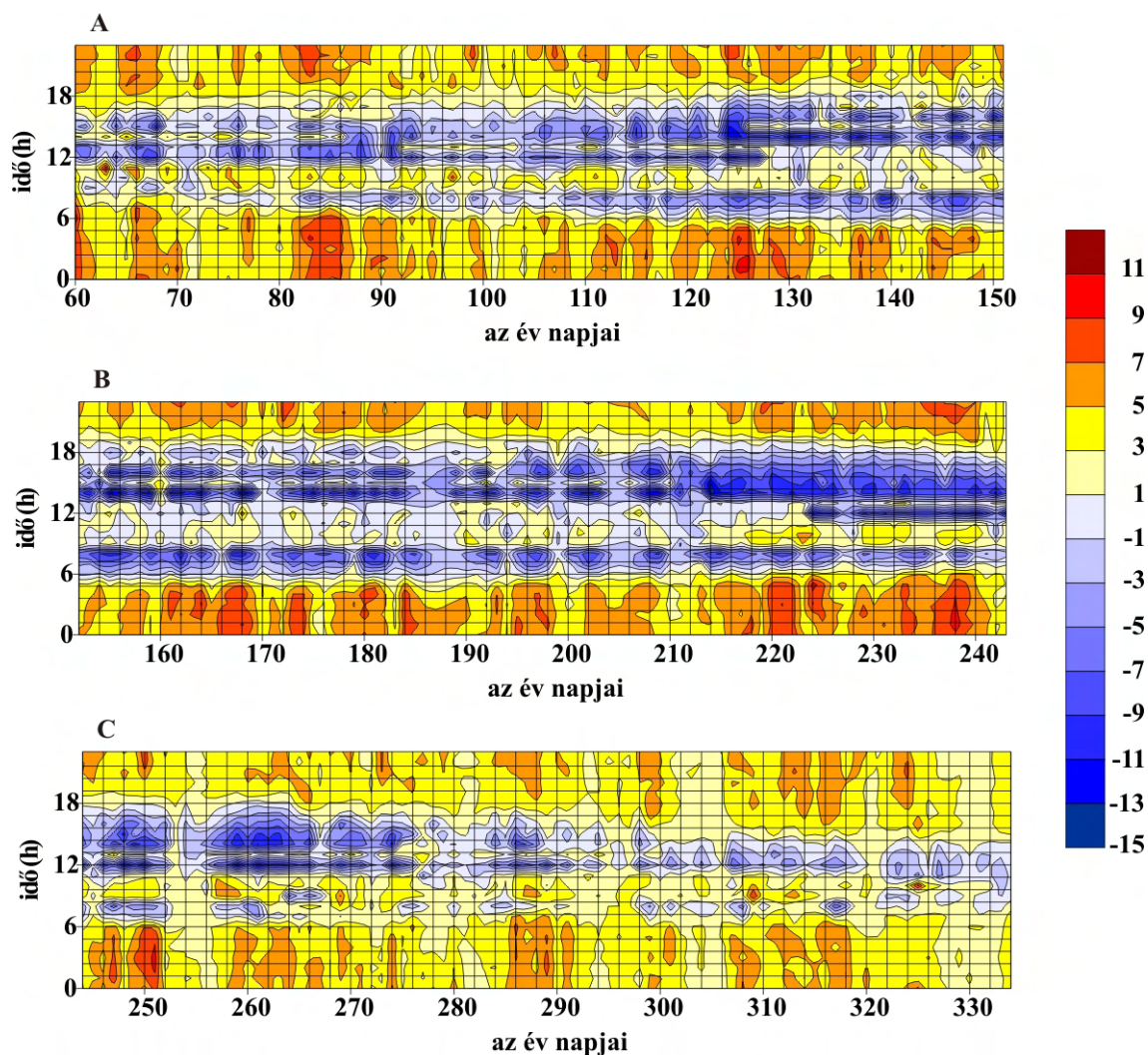


5.2.8. ábra A városi (A) és a városon kívüli (B) terület fiziológiai terhelése közötti különbség (az órás átlag *PET* értékek napi eloszlása alapján) 2003 nyarán (°C)

Ezzel együtt a másik legszembetűnőbb különbség az éjszakai értékekben mutatkozik. A rurális területen gyors és intenzív a csökkenés, ami az éjszaka második felére már a mérsékelt hideg stressz kategóriájába tartozó értéket vesz fel. Az urbánus területen a lassú csökkenés után a nyár folyamán csak nagyon ritkán, legfeljebb a kora hajnali órákban, rövid időre fordul át a fiziológiai terhelés enyhe hideg stresszbe. Mindez a városban élők számára például azt jelenti, hogy szervezetüknek még a kora esti szabadtéri tevékenységek (rendezvény, sportolás) során is igen magas hőterheléssel kell megküzdeni, illetve, hogy az éjszakai regenerálódás lehetősége nagyon leredukálódik. (E tekintetben azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a

magas hőkapacitású, rosszul átszellőző (pl. panel) lakásban eltöltött éjszaka során a kültérnél is jóval kedvezőtlenebb körülmények között ez még kevésbé lehetséges.)

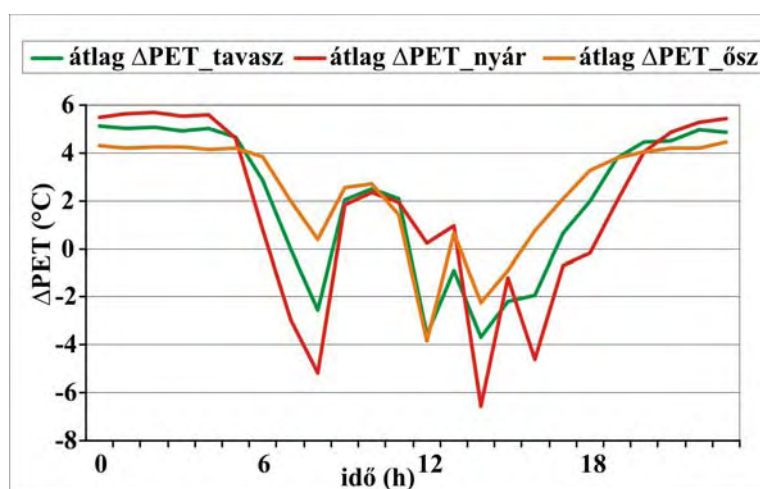
Még szemléletesebben kirajzolódik a két terület bioklimatikus jellegzetességeiben ki-mutatható különbség, ha a meteorológiai paraméterekhez hasonlóan képzett (u-r) ΔPET érté-keket ábrázoljuk izoplétákkal (5.2.9. ábra).



5.2.9. ábra A városi (PET_u) és a városon kívüli (PET_r) terület órás átlag PET értékeinek különbsége 2003 tavaszán (A), nyáron (B) és ősszel (C) ($\Delta PET = PET_u - PET_r$) (°C)

A városi környezetben élesen kirajzolódik egy nappali negatív és egy éjszakai pozitív el-térés a külterülethez képest. Ez közvetve a felszínmorfológiai adottságokban fennálló különbsé-gekre vezethető vissza. A meteorológiai adatok elemzése során láthattuk (5.2.2. ábra), hogy van ugyan napközben egy enyhe negatív hőmérsékletbeli eltérés a városban, de ez nem magyarázna ilyen jelentős bioklimatikus különbséget. A 2.2.3. fejezetben bemutatottakból kitűnik, hogy a magyarországihoz hasonló klimatikus adottságú területeken a testet körülvevő sugárzási miliő a legfontosabb bioklimatikus szabályozó faktor, azaz (legalábbis nappal) még a hőmérsékletnél is relevánsabb tényező a sugárzás. A városi tereptárgyak (épületek, növényzet) bioklimatikus vi-

szonyokra gyakorolt módosító hatása az 5.1. fejezetben a mikro léptékű vizsgálat tapasztalatai alapján bizonyított, ám ez a hatás mezo skálán is jól érzékelhető különbségeket okoz. A direkt-sugárzás leárnyékolása nappal mérsékli a terhelést. Ez a mérséklő hatás erősödik az év során a sugárzás erősségének növekedésével, késő ősszel pedig egészen elmosódik. Éjjel viszont éppen a tereptárgyak okozta csökkent hosszúhullámú kisugárzás és az ennek következtében kifejlődő hősziget egy erőteljes pozitív eltérést okoz a városban. Ez az eltérés napi átlagértékeket tekintve lehet akár 10-12 °C (*PET*), ami 2-3 terhelés kategóriabeli különbséget is takarhat. Ennek szervezetre gyakorolt hatásai évszakonként másként ítéltethők meg. Nyáron az imént említett csökkent regenerálódási lehetőség miatt kedvezőtlennek tekinthető, míg tavasszal és ősszel (és különösen a jelen esetben nem vizsgált téli időszakban) kedvező lehet.

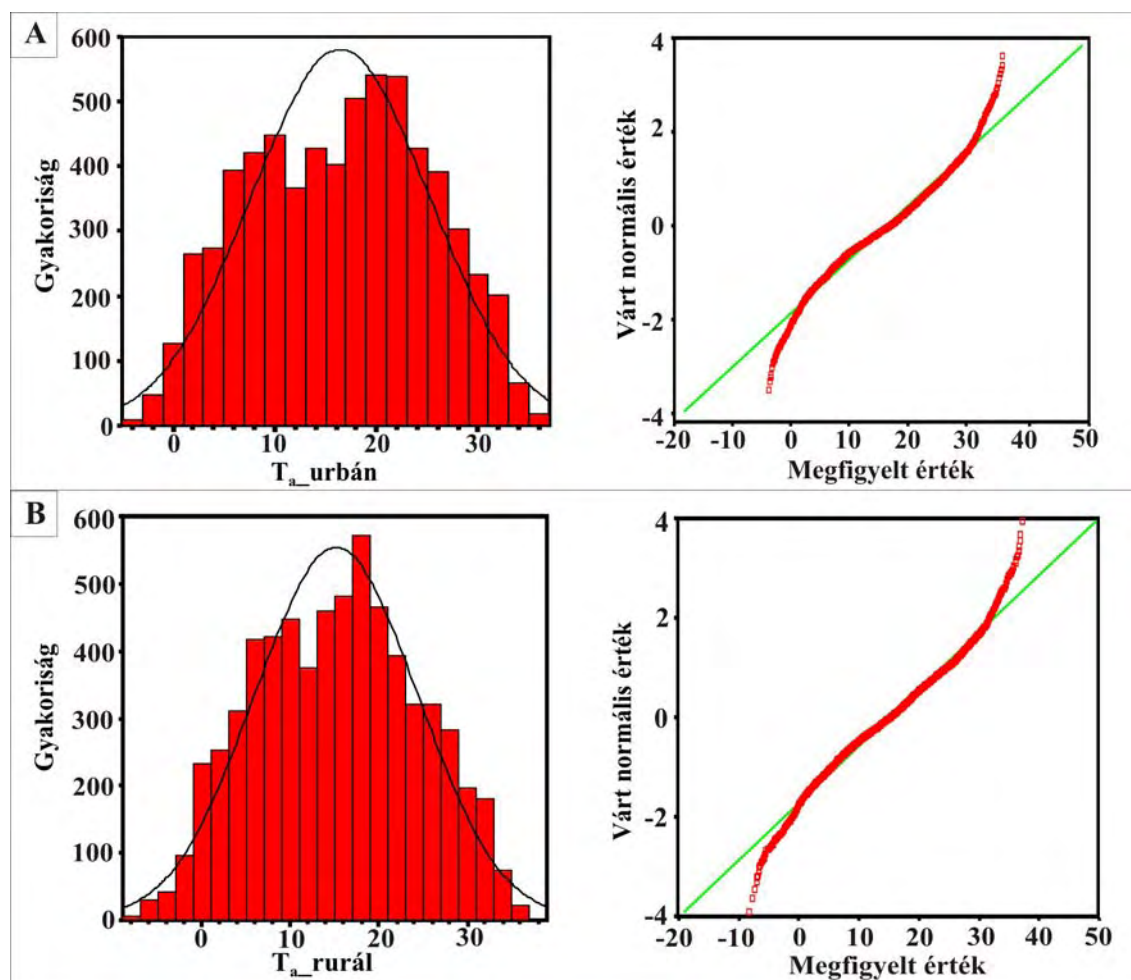


5.2.10. ábra Az órás ΔPET értékek átlagainak napi menete az egyes évszakokban

A városi és a városon kívüli területek közötti különbség mértéke tehát évszakonként eltérő. Ezekre a különbségekre világít rá az 5.2.10. ábra is, amely az átlagos órás ΔPET értékek napi menetét ábrázolja az egyes évszakokban. A nap során a legszélesebb intervallumban nyáron mozog az átlagos ΔPET értéke, a legkiegyenlítettebb az ősz folyamán. Nyáron (a nagy sugárzás miatt) a tereptárgyak árnyékoló hatása sokkal erőteljesebb hatást fejt ki a bioklimatikus viszonyok módosítására, mint tavasszal és ősszel. A sugárzási viszonyok romlásával (ez ősszel a legszembetűnőbb) a városi *PET* index értékek a nap döntő részében felülmúlják a városon kívüli területét. Ez – figyelembe véve, hogy ekkor már a fiziológiai terhelés a hideg stressz felé tevődik át – egyértelműen kedvező városi hatásnak tekinthető.

5.2.3. A bioklimatikus viszonyok kapcsolata a meteorológiai paraméterekkel

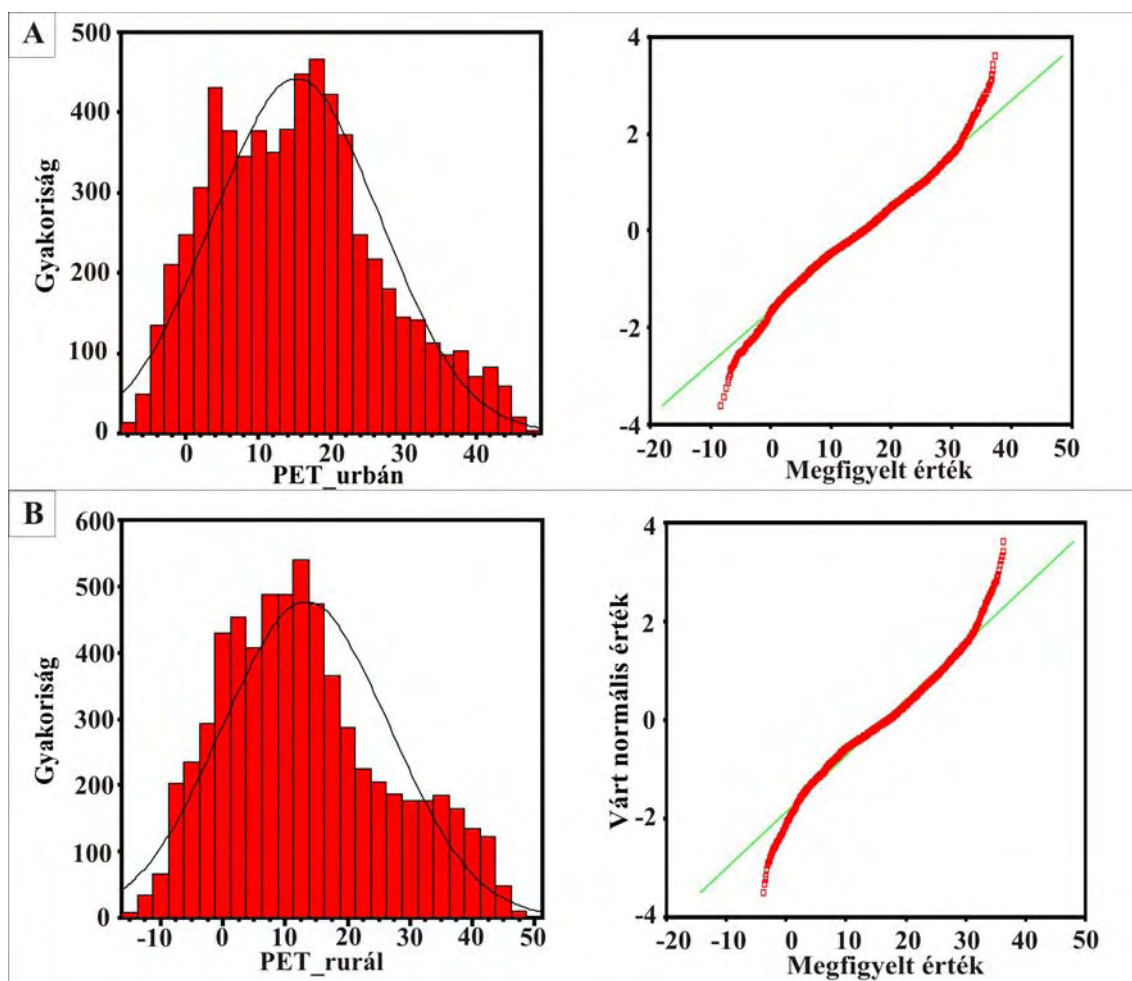
A továbbiakban azt vizsgáltam, hogy milyen jellegű és erősségű a meteorológiai elemek és *PET* index között fennálló kapcsolat, milyen évszakos és napszakos különbségek figyelhetők meg a kapcsolat jellegében.



5.2.11. ábra A városi ($T_{a_urbán}$) (A) és a külterületi ($T_{a_rurál}$) (B) mérőpont hőmérsékleti értékeinek (órás átlag) normalitás vizsgálata (hisztogram és Q-Q diagram) ($n=6408$)

Elsőként Kolmogorov-Smirnov próba és grafikus normalitás vizsgálat segítségével megállapítottam, hogy az adatok nem normális eloszlást mutatnak, akár a meteorológiai paramétereket, akár a bioklíma indexértékeket nézzük. Az 5.2.11. ábra ezt a léghőmérsékletek ($T_{a_urbán}$ és $T_{a_rurál}$), az 5.2.12. ábra pedig a *PET* index példáján mutatja be mind a városi ($PET_{urbán}$) mind pedig a városon kívüli ($PET_{rurál}$) területre.

A városi (urbán) területek *PET* értékeinek eloszlási hisztogramja kétmódusú, a 4 és a 20 °C körüli értékek dominálnak. A városon kívüli (rurál) terület esetén az eloszlás kissé balra torzult, amely során a 10 °C körüli értékek dominálnak és egy enyhe második módusz is ki-rajzolódik 35 °C körül.

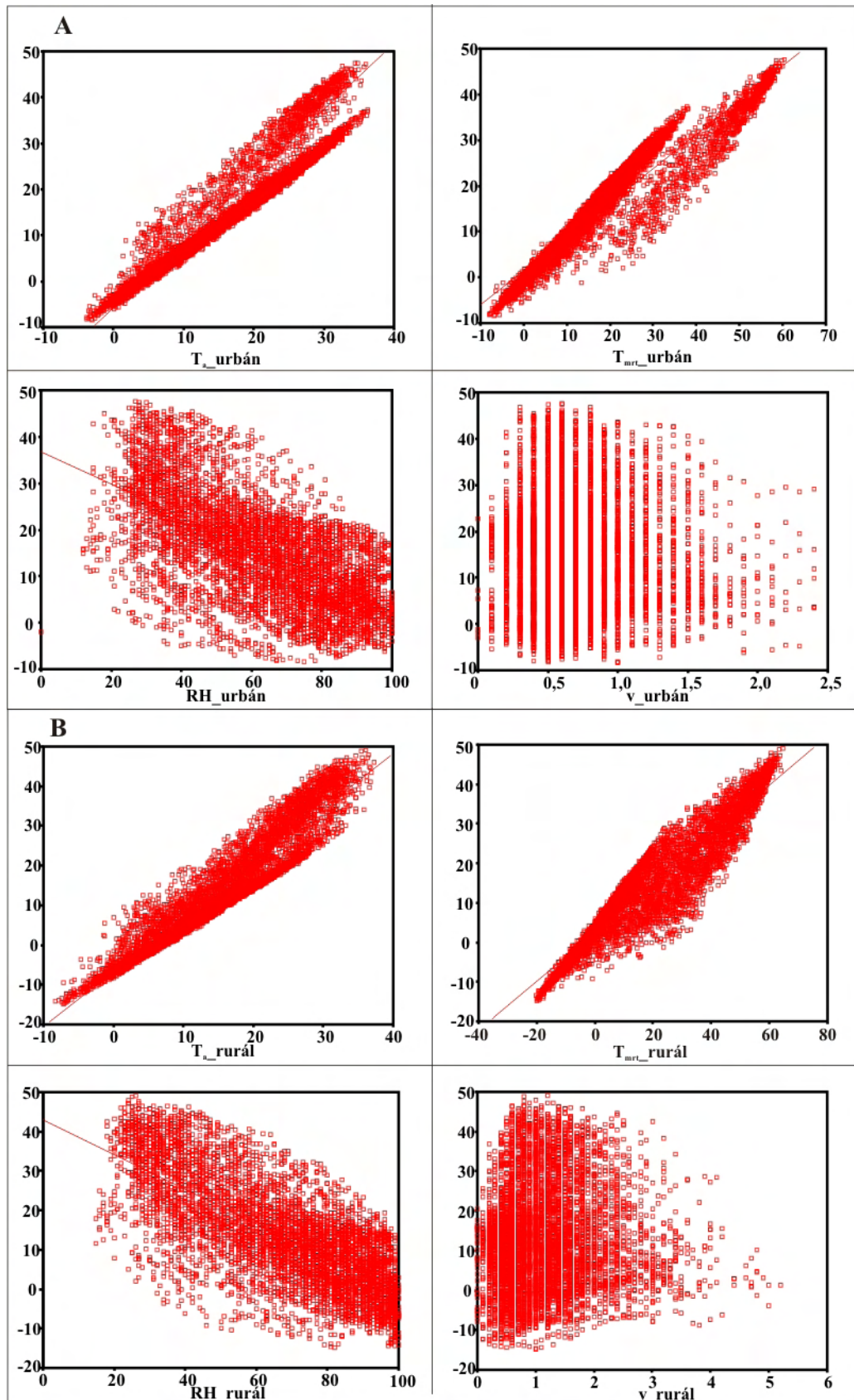


5.2.12. ábra A városi ($PET_{urbán}$) (A) és a külterületi ($PET_{rurál}$) (B) mérőpont PET index ($^{\circ}C$) értékeinek (órás átlag) normalitás vizsgálata (hisztogram és Q-Q diagram) ($n=6408$)

A Spearman-féle korrelációs vizsgálatok elvégzése során feltártam az egyes meteorológiai tényezők és a PET index közötti kapcsolat jellegét (5.2.13. ábra). Eszerint a léghőmérséklet (T_a) és a sugárzási viszonyok (T_{mrt}) valamint a PET index között erős pozitív lineáris kapcsolat fedezhető fel mind a városi, mind pedig a városon kívüli területen. Ezek az adatok összecsengenek a korábbi szakirodalmi adatokkal (pl. Mayer and Matzarakis, 1998; Bauer et al., 1999; Mayer et al., 2008). A relatív nedvesség (RH) esetén a kapcsolat szintén lineáris, ám negatív és az adatok szórása sokkal nagyobb az előzőeknél.

Nem várt eredményt hozott a szél (v) és a PET értékek összefüggésének vizsgálata. Szakirodalmi adatok ugyanis azt mutatták, hogy a szélsébség és a komfortviszonyok között kimutatható összefüggés van. Eszerint a szélsébség növekedése mérsékelni képes az extrém hőterhelést a nyári időszakban. Ezek a megállapítások azonban nagyobb szélsébségekre vonatkoztak ($2-5 \text{ ms}^{-1}$) és olyan megkötések tartalmazzak, mint az alacsony T_{mrt} (pl. Ali-Toudert, 2005). Esetünkben egy keskeny utcakanyon szélén (az utca végétől jelentősebb távolságra) lévő mérőpontban a humán bioklimatikus standard-eknek megfelelő 1,1 m-re való

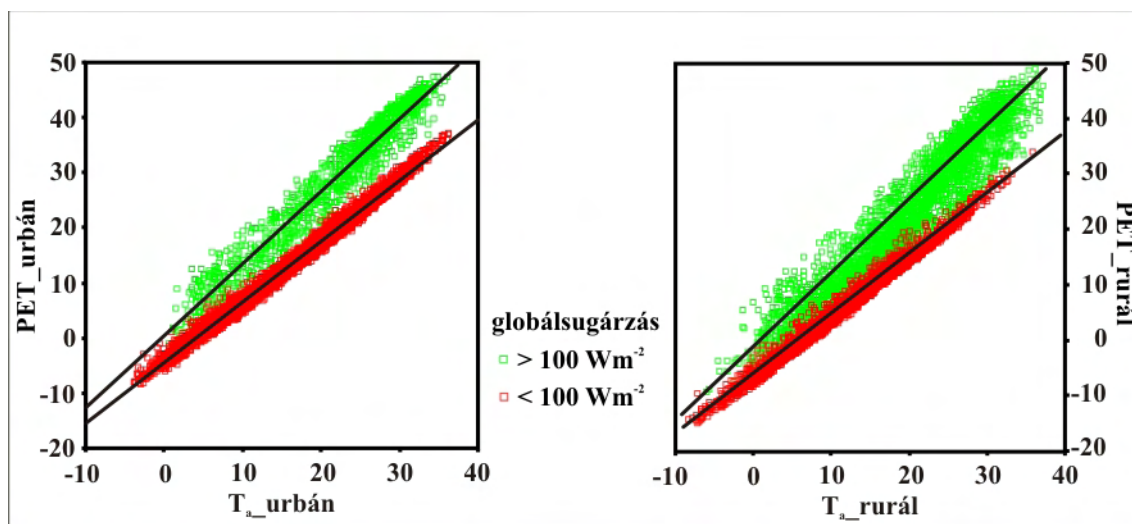
szélredukció után (különösen a belvárosi területen) rendkívül alacsony szélsébségekkel találkoztunk minden évszakban.



5.2.13. ábra A PET index és a meteorológiai paraméterek kapcsolata a városi (urbán) (A) és a külterületi (rurál) (B) mérőpont esetén

Az elemzést elvégeztem évszakos bontásban, illetve a T_{mrt} értékek szerinti leválogatásban is, és mindkét esetben az 5.2.13. ábrán láthatóhoz hasonló eredményt kaptam. Ennek lehetséges oka a túl alacsony szélesség.

A szakirodalmi adatoknak megfelelően tehát a hőmérséklet és a PET értékek között mutatható ki erős pozitív kapcsolat (pl. Mayer et al., 2008).



5.2.14. ábra A PET index és a hőmérséklet (T_a) kapcsolata a városi (urbán) és a külterületi (rurál) mérőpont esetén eltérő átlagos óras globálsugárzási viszonyok mellett

A korreláció vizsgálat során érdekes jelenség tűnik ki a hőmérséklet és PET összefüggésének ábráján (5.2.14. ábra): a pontfelhők két viszonylag jól elkülöníthető halmazra oszthatók mind a városi mind pedig a városon kívüli terület adatai esetén. Ugyanazon hőmérsékleti értékhez jelentősen eltérő PET értékek tartozhatnak. Amennyiben az adatok megjelenítésében különbséget teszünk abban, hogy mekkora az adott T_a -hoz tartozó PET esetén a globálsugárzás értéke (100 Wm^{-2} -nél nagyobb vagy kisebb), akkor jó közelítéssel felfedhető az elkülönülés oka. Ha a globálsugárzás 100 Wm^{-2} -nél nagyobb, ez jó eséllyel azt jelenti, hogy a pontot (a mérőpontban tartózkodó testet) direkt sugárzás éri, ami pedig nagyobb energianyereséget jelent a test számára. Vagyis ekkor a termikus komfortviszonyokat ez a tényező határozza meg nagyobb súllyal, ez okozhatja a pontfelhőben jelentkező karakterisztikus eltérést.

Az adatok standard normál eloszlásúvá konvertálása után adatpáronként (kivéve a szél adatokat, az előbb említett oknál fogva) évszakos és napszakos bontásban regresszió számítást végeztem annak jellemzésére, hogy milyen erős a kapcsolat az egyes meteorológiai paraméterek és a PET index között.

A lineáris regresszió során kapott determinációs koefficiens (r^2) értékeket az 5.2.1. táblázat foglalja össze. Ebből kitűnik, hogy bár a hőmérséklet és a T_{mrt} esetén az összes vizsgált

időszakra igen magas determinációs együtthatót kaptam, mégis kimutatható napszakos és évszakos különbség a kapcsolat erősségében.

5.2.1. táblázat Az egyes meteorológiai paraméterek és a *PET* index kapcsolatát kifejező lineáris regressziós együtthatók (r^2) értékei évszakos és napszakos (N-nappal, É-éjjel) bontásban illetve a teljes időszakra vonatkozóan (03-11) a városi (u) és a külterületi (r) mérőpont esetén (szignifikancia szint < 0,001)

	<i>T_a-PET</i>		<i>T_{mrt}-PET</i>		<i>RH-PET</i>		Elemsszám
	u	r	u	r	u	r	
tavas-N	0,883	0,887	0,983	0,984	0,281	0,404	1296
tavas-É	0,984	0,989	0,878	0,841	0,169	0,210	879
nyár-N	0,660	0,806	0,949	0,904	0,385	0,576	1329
nyár-É	0,947	0,961	0,962	0,967	0,203	0,237	720
ősz-N	0,833	0,865	0,978	0,974	0,404	0,600	1092
ősz-É	0,980	0,984	0,859	0,818	0,193	0,291	1092
03-11	0,912	0,912	0,901	0,901	0,351	0,320	6408

A léghőmérséklet (T_a) és a *PET* kapcsolatát vizsgálva megállapítható, hogy évszaktól függetlenül a legszorosabb a kapcsolat éjjel, mind a városi, mind pedig a városon kívüli területeken. Nappal minden évszakban csökken a kapcsolat szorossága (vagyis nappal a léghőmérséklet a komfortviszonyok meghatározásában veszít jelentőségéből), ám ez a csökkenés évszaktól és a megfigyelési terület elhelyezkedésétől függően változó mértékű. A legnagyobb nyáron, ezen belül is a városi környezetben. Ez esetben az r^2 értéke már csak 0,66, ami bár önmagában véve még mindig viszonylag magas, ám a többi, 0,9 körüli értékekhez viszonyítva jelentős visszaesést jelent. Ez a jelenség valójában a mezo léptékű megjelenése annak a mikro szinten korábban bemutatott sajátosságnak, hogy termikus komfort alakításában központi szerep jut a sugárzásnak. Amint a testet direkt sugárzás éri, ez lesz az elsődleges meghatározója a hőérzeti és komfortviszonyoknak. Az is egy érdekes eredmény, hogy ebben a „kritikus időszakban” a hőmérséklet szerepe a városi környezetben alacsonyabb, mint a külterületen.

Előbbieknek megfelelően a sugárzási viszonyok bemutatására használt T_{mrt} és a *PET* kapcsolata minden évszakban, minden napszakban rendkívül szoros. A determinációs együttható értéke csak tavasszal és ősszel éjjel csökken 0,9 alá.

A relatív nedvesség (*RH*) és a *PET* kapcsolatának szorossága jóval gyengébb, mint az előbbi két paraméter esetén. Bár az egész vizsgált időszakot nézve (n=6408) a determinációs koefficiens közel azonos városi és városon kívüli területen, az előzőeknél nagyobb különbségek mutathatók ki napszakos és évszakos bontásban. Az éjszakai értékek mindkét területen alacsonyabbak, mint a nappaliak, függetlenül az évszaktól. Éjjel az r^2 értékek 0,169 és 0,291 között változva csak gyenge kapcsolatot mutatnak, azaz ekkor a légnedvesség viszonylag kis befolyással bír a humán komfort viszonyok alakítására. Jóval magasabbak az értékek, tehát

erősebb a kapcsolat a nappali órákban, különösen ősszel. Azonban fontos megjegyezni, hogy a determinációs együtthatók alapján a városon belüli terület esetén a légnedvesség humán komfort módosító hatása gyengébbnek látszik, mint a városon kívül. Minden variációból a legszorosabb összefüggés a rurális területen ősszel a nappali órákban mutatható ki.

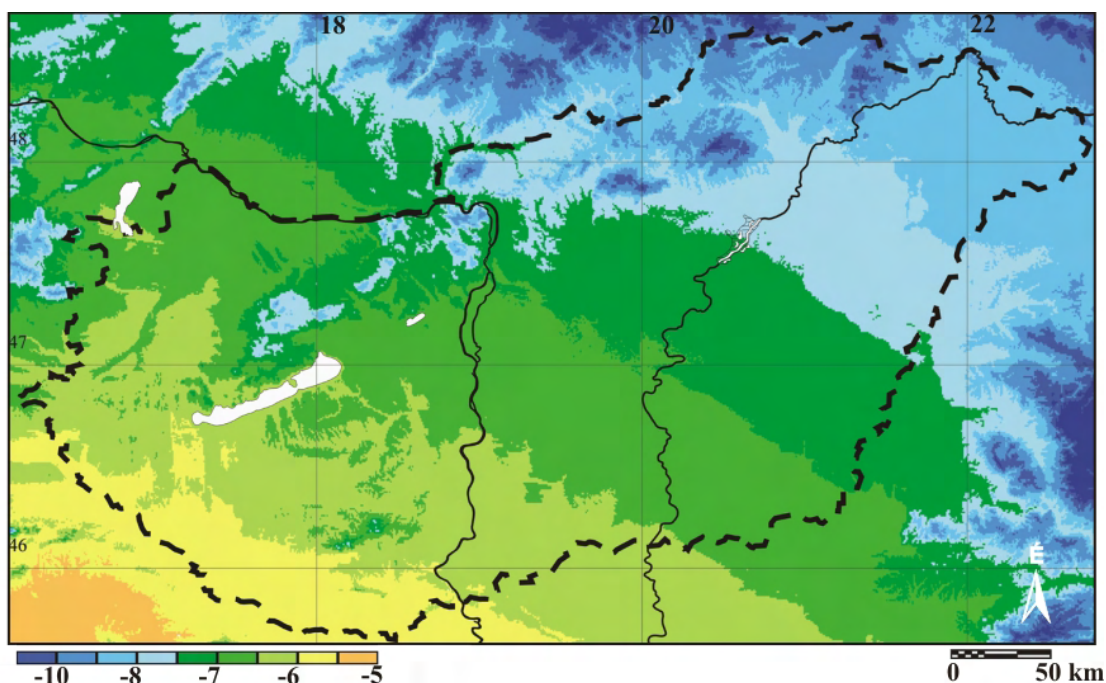
5.3. A makro léptékű vizsgálatok során kapott eredmények

A makro léptékű vizsgálatok esetén a nagyobb tér- és időbeli felbontás eltérő elemzési és felhasználási lehetőségeket rejt. A rendelkezésemre álló eszközök segítségével az volt a célom, hogy bemutassam Magyarország legfőbb bioklimatikus jellegzetességeit a *PET* bioklíma index térbeli eloszlásának tükrében. A térképek a vizsgált időszakban (1961-1990) minden hónapra és évszakonként is elkészültek, amelyekből jelen dolgozatban a 4 évszak egy-egy karakterisztikus hónapjának adatait elemzem. A módszerből adódóan a térképek Magyarországnál valamivel nagyobb területet mutatnak be, de az elemzést csak az ország területére vonatkoztatom. Ennek megfelelően optimalizáltam a *PET* értékek skáláját is. (A tájékozódást hivatott elősegíteni az országhatár, a nagyobb folyók és tavak vonalának megjelenítése).

Ezen a léptéken a bioklimatikus jellegzetességek természetesen nem függetlenek a térség makroklimatikus viszonyaitól. Magyarország klimatikus adottságait elsősorban az Európában elfoglalt (centrális) helyzetének köszönheti, melynek következtében a kelet-európai kontinentális, a nyugat-európai atlantikus (óceáni) és a dél-európai mediterrán klímahatások „ütköző zónájában” található (Pécsi and Sárfalvi, 1964). A Köppen-féle klímaosztályozási rendszer szerint az ország túlnyomó része a *Cf* klímátípusba, azaz a meleg mérsékelt övön belül az egyenletesen csapadékos, enyhe telű altípusba, a módosított Trewarta-féle beosztás szerint pedig a mérsékelt övi sztyep éghajlati zónába tartozik (Péczy, 1984). A viszonylag kis – mind vertikális, mind horizontális értelemben vett – kiterjedésnek köszönhetően a klíma meglehetősen homogénnek tekinthető (Justyák, 2002).

Az évi középhőmérséklet 10,4 °C (Budapest/Lőrinc). A hőmérséklet területi eloszlása a kis területi kiterjedésnek köszönhetően elsősorban a domborzati viszonyokkal van összefüggésben. Ez az érték valamivel 8 °C alá csökken az Északi-középhegység, a Dunántúli-középhegység és az Alpokalja legmagasabb régióiban. Az átlagnál magasabb (11 °C fölötti) évi átlaghőmérséklet jellemzi az Alföld középső és déli területeit. Szintén a kis kiterjedésnek köszönhetően a sugárzási viszonyok alakulását elsősorban a felhőzet befolyásolja. A napsütéses órák száma térségtől függően 1700 és 2100 között mozog egy évben; ez esetben is (összhangban az éves globálisugárzási bevétellel, ami 4300- 5000 a MJm⁻² közötti) az Alföld imént említett régióiban a legnagyobb és a középhegységekben, illetve a nyugati határszáron a legkevesebb (OMSZ, 2003).

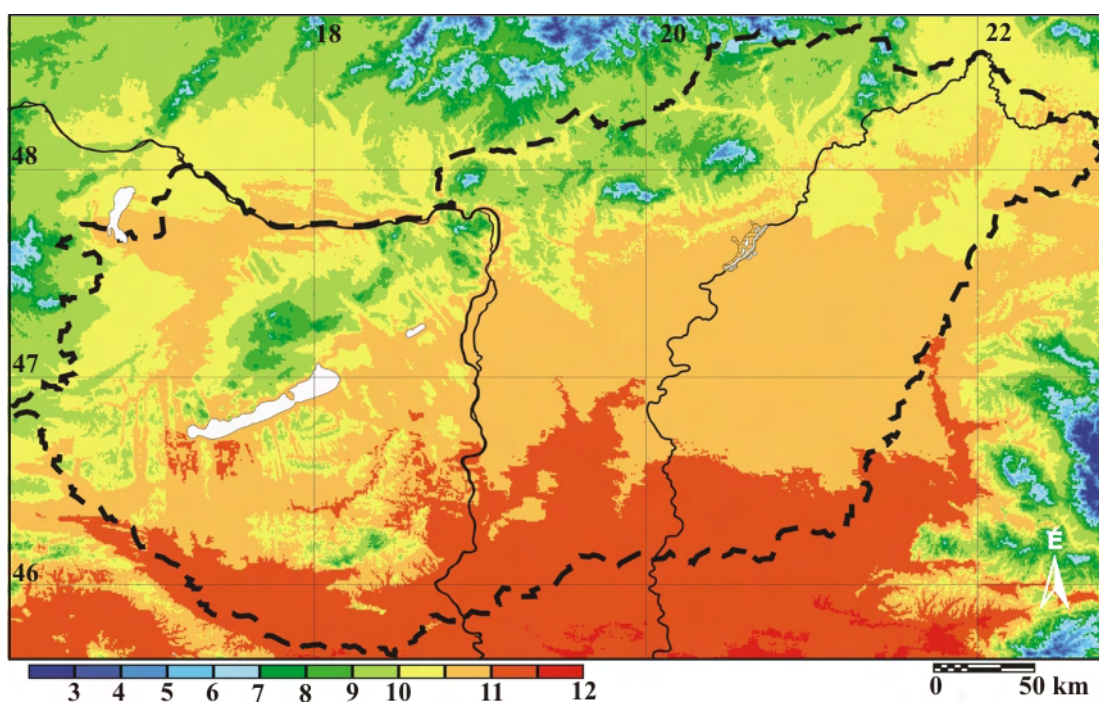
Az 5.3.1-5.3.4. ábrák bioklíma térképei a *PET* index területi eloszlását mutatják Magyarországon 1 km felbontásban a 4 évszakot reprezentáló kiragadott hónapban. Ahogyan – a kis magasságbeli különbségből és a területi kiterjedésből adódóan – a meteorológiai paraméterek, úgy a bioklimatikus index értékek is meglehetősen nagy homogenitást mutatnak az egész országban. Általánosságban elmondható, hogy a legmagasabb értékek az ország déli részén mutathatók ki. (Ez alól csak a példaként bemutatott téli hónap jelent kivételt, ennek részletesebb elemzése a január hónapnál látható). A különbség a legmagasabb és a legalacsonyabb *PET* értékek között egész évet vizsgálva csak ritkán haladja meg a 10 °C-ot. (Természetesen, mivel a térképek havi átlagokat ábrázolnak, ezért az extremitások elfedődnek.)



5.3.1. ábra A *PET* index januári átlagértékének térbeli eloszlása Magyarországon 1961-1990 között (°C)

A *PET* index januári átlagértékének területi eloszlását bemutató térképről jól látható (5.3.1. ábra), hogy az átlagos indexértékek -10 és -5°C között mozogva (a 2.3.4. táblázatban bemutatott értékhatároknak megfelelően) mindenütt az erős hidegstressz kategóriába esnek. (Ez a jelenség arra is felhívhatja a figyelmet, hogy alapkutatás szintjén szükség lehet a *PET* index hidegterhelési kategóriarendszerének árnyalására, legalább a közép-európaihoz hasonló klimatikus viszonyok között.) Legkisebb terhelés a DNY-Dunántúlon, a legnagyobb pedig az Északi középhegységben detektálható. A *PET* index csökkenési tendenciája jól érzékelhetően DNY-ÉK-i irányultságú, amelynek következtében az ÉK-Alföld a Dunántúli-középhegységhez hasonló átlagos januári hidegterhelést jelent a szervezet számára, noha a tengerszint feletti magasságuk jelentősen különbözik. Szintén szembeötlő, hogy a Mecsek területén számolt értékek nem különböznek jelentősen a környezetének értékeitől, vagyis a ten-

gerszint feletti magasságából várhatónál jóval magasabb *PET* értékeket mutat. E két jelenség valószínűsíthetően azonos okra vezethető vissza: a D-DNY-Dunántúli területek erőteljes szubmediterrán klímahatás alatt állnak (Koppány and Unger, 1992), amely jelentősen csökkenti ezeken a területeken a téli hidegstressz mértékét. Szemléletes, hogy amíg a Mecsek esetében a *PET* abszolút értékben a legmagasabb csúcsok és a hegylábi előtér viszonylatában $-7,1^{\circ}\text{C}$ és $-5,8^{\circ}\text{C}$ között mozog, addig a hasonló tengerszint feletti magasságú Visegrádi-hegységben $-8,4^{\circ}\text{C}$ és $-6,1^{\circ}\text{C}$ a két szélső érték. Vagyis a mediterrán klímahatás DNY-ÉK-i gradiens mentén csökken, és a Pilisvörösvári-árokotól É-ra már nem érezteti a hatását. (Ez a vonal olyan jelentős választóvonal, hogy a botanikai szakirodalom ún. Középdunai Flóráválasztóként említi, eddig tapasztalható a szubmediterrán jellegű flóraelemek É-ÉK-re történő migrációja és tartós megtelepedése (Kun et al., 2000).) A fentiekből úgy tűnik, hogy ez a klimatikus befolyás minden élő szervezetre (növényi-, állati- és emberi szervezetre egyaránt) kifejti a hatását.

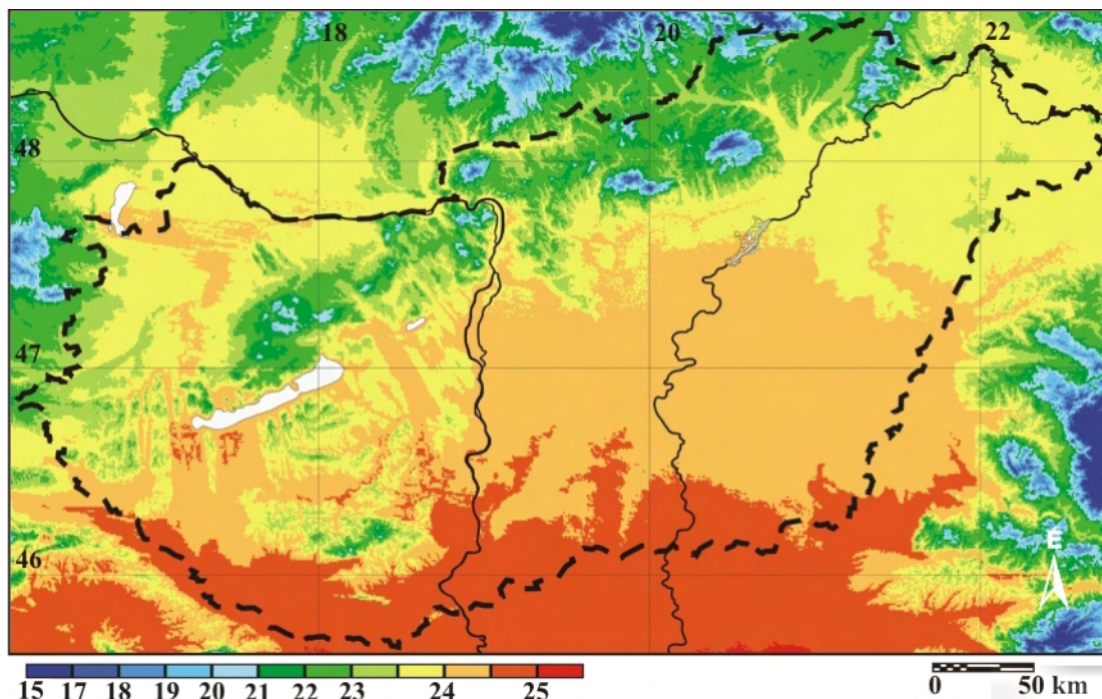


5.3.2. ábra A *PET* index áprilisi átlagértékének térbeli eloszlása Magyarországon 1961-1990 között ($^{\circ}\text{C}$)

Az áprilisi *PET* értékek eloszlását vizsgálva igen nagyfokú homogenitás jellemzi az ország jó részét, elsősorban a legalacsonyabb tengerszint feletti magasságokban (5.3.2. ábra). A változási tendenciák az eddigi DNY-ÉK-iról egyértelmű É-D-i irányultságot vesznek.

Az áprilisi átlagértékek alapján a két szélső érték között mintegy 9°C -os különbség van, tehát a téli hónaphoz képest valamelyest nőtt az egyes területek közti különbség. Ennek valószínűleg az az oka, hogy emelkedik a sugárzási bevétel. A kisebb léptékű vizsgálatokból

is látszott, hogy a sugárzás milyen fontos szerepet tölt be a miénkhez hasonló klimatikus adottságú területeken a termikus komfortviszonyok alakulásában. Ennek megfelelően nagyléptékben is kimutatható, hogy a tél elmúltával a sugárzási viszonyok megváltozása maga után vonja a területi különbségek megnövekedését bioklimatikus szinten is.



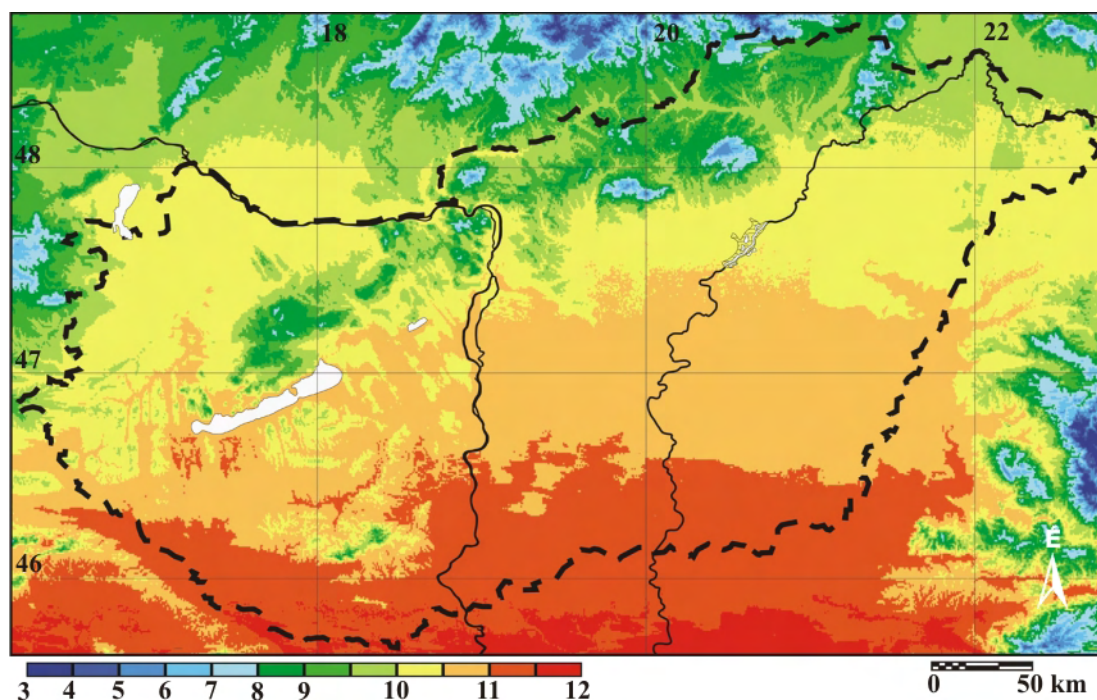
5.3.3. ábra A *PET* index júliusi átlagértékének térbeli eloszlása Magyarországon 1961-1990 között (°C)

Különösen igaz a fentebbi megállapítás a nyári időszakban. A *PET* értékek júliusi területi eloszlása szerint a tavaszihoz képest még tovább nőnek a területi különbségek (5.3.3. ábra), már 10 °C (*PET*) a két szélsőérték közötti különbség. Ez azt is jelenti, hogy a termikus komfortérzet szempontjából két kategóriányi különbség jelentkezik (már az átlagok szintjén is) a különböző területek között. Ez abszolút értékben az enyhe hidegstressz és az enyhe melegstressz közötti értékeket jelent. Természetesen ismét hangsúlyozva, hogy az átlagolás során az eseti extremitások elfedődnek. (Valószínűsíthetően minél erőteljesebb a sugárzás, annál nagyobb jelentősége lehet ebben a kérdésben a lejtőkitettségnek is, ám ebben a felbon-tásban ez nem értelmezhető, így nem is szerepel a változók között).

Az Alföld nagy részét ez esetben is nagyfokú homogenitás jellemzi, ahol azonban a változási tendenciák a tavaszi hónaphoz hasonlóan É-D-i irányúak.

Az őszi időszakot reprezentáló október hónap *PET* értékei mind abszolút értelemben, mind pedig eloszlásukat tekintve az áprilissal mutatják a legnagyobb hasonlóságot (5.3.4. ábra). Igaz ebben az esetben az adatok terjedelme valamivel kisebb, csak mintegy 7,5 °C-os. Ha a komfortfokozati skálán vizsgáljuk, akkor az értékek ez esetben a hideg és hűvös hőérzeti

kategóriában mozognak. A változás tendenciái a tengerszint feletti magasság mellett jelentős É-D-i irányultságot is mutatnak.



5.3.4. ábra A *PET* index októberi átlagértékének térbeli eloszlása Magyarországon 1961-1990 között (°C)

Az egész évben (így a példaként kiemelt 4 hónapban is) figyelemre méltó a Balaton körül tapasztalható magasabb *PET* értékekkel jellemezhető sáv, amely finomabb felbontásban mutatható ki igazán hatékonyan. Ennek az itt kimutatottnál is nagyobb jelentősége lehet turisztikai szempontból. E kérdés mért adatokon alapuló részletesebb vizsgálatával foglalkozik Németh et al., (2007 és 2008).

Fontos megjegyezni, hogy az általam használt módszerben a bioklimatológiai index számítás és az elemzés nem valós mért adatok alapján készült, és a *CRU* adatbázis korlátai ismeretesek (Horányi, 2006). (Amennyiben lehetőségünk nyílik, szeretnénk összevetni a kapott eredményeket mért adatokkal, ezt egyelőre adathiány miatt nem tettük meg.)

6. Az eredmények összefoglalása, kitekintés

Dolgozatomban arra törekedtem, hogy bemutassam a különböző léptékeken kirajzolódó bioklimatikus sajátosságokat egy közép-európai város (Szeged), illetve Magyarország példáján. Ennek számszerűsítésére modern – emberi energia-egyenlegen alapuló – bioklíma indexeket használtam fel (*PET* és *PMV*) amelyek egyesítik a meteorológiai tényezők és a fiziológiai folyamatok hatásait, így eredőként egy a korábbi (empirikus) indexeknél sokkal pontosabb közelítést adnak a fiziológiai terhelés mértékéről és az ember hőérzetéről.

Mikro léptékben a terepi mérések és a modellszimulációk eredményeiből levont következtetések a hőstressz szempontjából leginkább számításba veendő nyári időszakra vonatkoznak. Mezo (lokális) léptékben a tavasztól ősziig terjedő (mint a szabadtéri aktivitás szempontjából legaktívabb) időszakra, míg a makro léptékű vizsgálatban az év minden hónapjára és évszakosan is elkészült a bioklíma térkép (Gulyás and Matzarakis, 2009). Ezekből a dolgozatban a 4 évszak egy-egy hónapját elemzem részletesebben.

6.1. A mikro léptékű bioklimatikus viszonyok mozaikossága a városban

A terepi mérési és a modellszimulációs vizsgálatok annak bizonyítására irányultak, hogy a mikroklimatikus viszonyokhoz hasonlóan az összetett felszíni geometriájú városi környezetben a mikro léptékű bioklimatikus jellemzők is rendkívüli mozaikosságot mutatnak. Ennek következményeként akár néhány méteren belül (pl. ugyanazon utcakanyon két oldalán) jelentősen eltérő lehet az emberi szervezetet érő stresszhatás, akár 2-3 kategóriányi különbség is kialakulhat (Gulyás et al., 2003a). Ez esetünkben a mobil mérések során például úgy jelent meg, hogy a mérési (zavartalan napsütéses, kánikulai) nap közel azon időszakában a legnagyobb és a legkisebb terheléssel jellemezhető pont között több, mint 17 °C *PET* eltérés volt kimutatható. Vagyis ugyanazon időszakban e kis területen a *mérsékelttől* az *extrém* hőstresszig a fiziológiai terhelés igen széles skálán mozgott.

Ennek okát elsődlegesen a sugárzási jellemzőkben kell keresni, ami a magyarországihoz hasonló klimatikus háttéradottságú területeken a bioklimatikus viszonyok legfőbb befolyásolója. Sokkal inkább meghatározó, mint a többi meteorológiai paraméter. Így a komfort viszonyok módosításánál mikro léptékben azoknak a tényezőknek lesz a legnagyobb jelentősége, amik ezt megváltoztatni képesek (Unger et al., 2005).

6.2. A mikro léptékű bioklimatikus viszonyok és a felszíni geometria összefüggése

A mérések és szimulációk alapján kimutatható, hogy a T_{mrt} -vel kifejezett sugárzási fluxus rendkívül szenzitív a felszíni geometriára (beleértve ebbe az utca orientációs viszonyait is). A természetes és mesterséges tereptárgyak jelentősen befolyásolják a sugárzási viszonyokat és ezáltal az emberi test energia-egyenlegét. Mind a szimulációs (amely során egy fix pont körül modellezés segítségével változtattam meg a felszíni geometriát), mind pedig a mobil méréseken alapuló vizsgálat jelentős (20-25 °C T_{mrt}) különbséget mutatott ki annak függvényében, hogy a megfigyelési pontot éri-e direkt sugárzás vagy nem (Gulyás et al., 2003b).

Ez alapvetően két tényezőtől függ. Az egyik ebből meglehetősen összetett, összefoglalva az épületek felszíngeometriai jellemzőjeként említhető. Az ezt leíró paraméterek, a H/W , SVF értékek és az utca irányultsága (másként értelmezve a megfigyelési pont kitettsége). Ezek függvényeként a megfigyelési nyári időszakban a nappali órákban a magasabb H/W és az alacsonyabb SVF értékek jótékony hatással vannak a humán komfort viszonyokra. Ha mindez azonban D-DNY-ias kitettséggel párosul, akkor ez esetben az épületek elhelyezkedése kevésbé hatékony árnyékolást okoz. A mobil mérési eredmények során a délies kitettségű pontok PET átlaga 34,8 °C-nak adódott, míg az északias kitettségűeké 32,9 °C volt.

Ezek a paraméterek egy régóta meglévő városszerkezetben nehezen változtathatók, felértékelődik tehát a jelentősége a másik befolyásoló tényezőnek.

Ez a tényező a fás vegetáció. A szimulációs vizsgálat során a meglévő épületgeometria mellé „beillesztve” a fás vegetációt a PET index napi átlagában mintegy 5%-os csökkenést volt modellezhető. Ám ha ugyanezt csak a nappali időszakra vizsgáljuk, akkor a napközbeni terhelés csökkentése már közel 10%-os (Gulyás, 2005; Gulyás et al., 2004, 2006).

6.3. A bioklimatikus viszonyokra gyakorolt városi hatások

A vizsgálat során 2003 tavasztól ősziig terjedő időszakára (mint a szabadtéri aktivitás legtipikusabb időszaka) mutattam be azokat a legfontosabb módosító hatásokat és az ezek következtében kialakuló karakterisztikus különbségeket Szeged példáján keresztül, amelyeket a város mezo léptékben okoz a bioklimatikus viszonyokra. Ehhez (az általános városklíma gyakorlatnak megfelelően) egy tipikus városi és egy városi hatásoktól mentes (ún. külterületi) mérőpont bioklíma indexértékeinek alakulását hasonlítottam össze.

A kapott eredmények szerint a városi hatásként értelmezhető hatáskomplex a vizsgált periódus egészét tekintve a városi mérőpont átlagos PET értékében 2,1 °C-os növekedést idézett elő. Míg a maximális PET a városban csekély mértékben (0,4 °C) volt magasabb, mint a

városon kívül, a minimum értékekben sokkal jelentősebb (6,4 °C) különbség volt kimutatható a városi terület javára.

A szélsőséges hőérzeti kategóriákba tartozó órák száma mind a meleg, mind pedig a hideg szélsőség esetén a rurális területen volt magasabb. Míg a forró és nagyon forró hőérzeti kategóriákba tartozó időszak hossza között a teljes időszakhoz viszonyítva csak kb. 1%-os volt az eltérés, addig a hideg és nagyon hideg kategóriáknál ez a különbség 8%. A város bioklimatikus módosító hatása a nagyon erős hidegstresszel járó időszakokban sokkal jelentősebb, de kis mértékben a melegterheléssel jellemezhető időszakok hosszát is redukálja. A komfortos hőérzeti kategóriába tartozó időszakok hossza ugyanakkor az egész vizsgált időszakon belül mintegy kétszerese volt a városi területen. Általánosságban tehát az rajzolódik ki, hogy a városnak a bioklimatikus viszonyokra kifejtett hatása mérséklő és kiegyenlítő.

A városi befolyás tavasszal és ősszel sokkal kiegyenlítettebben fejti ki hatását a különböző kategóriák eloszlásában: kis mértékben csökkenti az extremitásokat és növeli a komfortos időszak hosszát. Nyáron azonban a *szélsőségesen meleg* hőérzeti kategóriában megfigyelhető kis mértékű csökkenés mellett kétszeresére emelkedik a *komfortos* kategóriába tartozó időszak hossza. A különbségek okai napszakos bontásban rajzolódnak ki a leginkább. Ez az első esetben az, hogy nappal az összetett városi felszín az erős besugárzást jelentősen korlátozza, a mikro léptéknél bemutatott módon csökkentve ezzel a fiziológiai terhelést. A második jelenég oka elsősorban az éjszakai csökkent mértékű hosszúhullámú kisugárzásban és a hatására létrejövő városi hőszigetben keresendő, ennek bioklimatikus megnyilvánulásának tekinthető. Valójában tehát ez esetben arról van szó, hogy nyári éjjeleken a városban élők termikus regenerációs lehetőségei romlanak, azáltal, hogy a szabadtéri fiziológiai terhelés éjjel sem megy át a hidegterhelési zónába. A városlakók jó része ráadásul az éjszakát nagy hőkapacitású épületben tölti, ahol a kültéri viszonyok éjjel sem tesznek lehetővé jelentős komfortjavulást (Gulyás et al., 2008). (A házak magas hőkapacitása mellett az is fontos tény, hogy bár a nappali erős direkt sugárzást az utcakanyon szintjében a tereptárgyak korlátozzák, a házak tetőszintjét akadálytalanul éri, növelve ezzel az épületek felmelegedését.)

Vagyis amíg a város bioklimatikus viszonyokra gyakorolt módosító hatása tavasszal és ősszel mérsékli a fiziológiai terhelést, addig ez nyáron csak a nappali időszakban tekinthető pozitív hatásnak, éjjel negatívként értelmezhető.

6.4. A bioklimatikus viszonyok és a meteorológiai paraméterek kapcsolata

Az egyes meteorológiai paraméterek (T_a , T_{mrt} , RH , v) és a PET index kapcsolatát évszakos és napszakos bontásban lineáris regresszió segítségével vizsgálva kimutatható, hogy a legszorosabb összefüggés a bioklimatikus viszonyok alakulása és a sugárzás (T_{mrt} -vel kifeje-

zett értéke) között van, kivéve a tavaszi és az őszi éjszakát. A determinációs együttható (r^2) értéke ugyan (mind a városban mind pedig a városon kívül) igen magas (0,818-0,878 között) de kisebb, mint a hőmérséklettel kimutatható kapcsolatnál. A tendenciák városi és városon kívüli területet nézve hasonlóak, kivéve, hogy nyáron nappal a hőmérséklet sokat veszít jelentőségéből ($r^2=0,606$) a humán komfort alakításában (a sugárzással kimutatható kapcsolat ekkor extrém magas).

A relatív nedvesség esetében a kapcsolat jóval gyengébb ($0,169 < r^2 < 0,600$), ami a városi területeken minden relációban (évszak-napszak) alulmúlja a városon kívüli területét. Eredményeim tehát azt mutatják, hogy a városon belüli terület esetén a légnedvesség humán komfortot befolyásoló hatása gyengébb, mint a városon kívül.

Nem várt eredményt hozott a szél (v) és a *PET* értékek összefüggésének vizsgálata. Ebben az esetben nem volt kimutatható szignifikáns befolyás a humán komfort viszonyokra sem a városi, sem a városon kívüli területeken. Ezt a nagyon alacsony szélességi értékekkel magyarázom, amit a humán bioklimatikus standardoknak megfelelően 1,1 m-re való redukció után kaptam.

6.5. Magyarország bioklimatikus viszonyainak bemutatása

Makro léptékben a bioklimatikus elemzés elsősorban bioklíma térképeken alapul. A bioklíma térkép sokkal komplexebb – fiziológiailag releváns – képet fest egy terület klimatikus viszonyainak emberi szervezetre gyakorolt hatásáról, mint a szimpla meteorológiai paraméterek ábrázolása. Dolgozatomban egy lehetséges módszert mutattam be Magyarország bioklíma térképének elkészítésére, ami 1 km-es felbontásban mutatja be a *PET* index havi átlagértékeinek területi eloszlását.

Bioklimatikus szempontból ezen a felbontáson jellegzetes területi különbségek rajzolódnak ki még e viszonylag kis területi kiterjedésű ország esetén is. Igaz ezek a különbségek olykor (pl. télen) nem jelentenek valódi kategóriabeli különbséget a fiziológiai terhelés szintjén. (Ez a jelenség felhívhatja a figyelmet arra, hogy szükséges lehet a *PET* index további finomítása – esetleg Közép-Európára történő regionalizálása – főleg a hidegstressz tartományokban.)

Általánosságban elmondható, hogy a *PET* index havi átlagértékei É-D-i gradiens mentén illetve tengerszint feletti magasság csökkenésével mutatnak növekvő tendenciát. Az É-D-i irányultságú növekedés a 4 vizsgált hónapból 3-ban egyértelmű, míg a téli hónapban (január) inkább ÉK-DNY-i. (Az értékelés mind a 12 hónapra elkészült, amely során bebizonyosodott, hogy ez a megállapítás valójában minden téli hónapra igaz.) A területi különbségek (hónaponként változó értékben) 5 és 11 °C között változnak a legmagasabb és a legalacsonyabb *PET*-tel

jellemezhető területek között. A legkisebb különbség a téli hónapokban mutatkozik, a legnagyobb pedig a késő tavaszi-nyári hónapokban. Ez a bemutatott téli hónapban azt jelenti, hogy az ország egész területe ugyanazon (*extrém*) fiziológiai (hideg) terhelési kategóriába tartozik, míg nyáron (amikor a legnagyobb területi eltérést tapasztaltam) akár 2 kategória eltérést is jelenthet (*mérsékelt-extrém*) a jelenleg használatos nemzetközileg elfogadott hőérzeti illetve fiziológiai terhelési skálán a két szélső értékkel jellemezhető terület között. A nagyobb területi differenciáltság minden bizonnyal összefüggésben áll azzal, hogy ezekben a hónapokban magasabb a sugárzási energia bevétel. Az előző léptékeken már bebizonyosodott, hogy a sugárzásnak alapvető szerepe van a bioklimatikus terhelés alakításában, ez tehát makro léptékben is rányomja a bélyegét a viszonyokra (Matzarakis and Gulyás, 2006; Gulyás and Matzarakis, 2007).

A tengerszint feletti magasság növekedésével a *PET* indexértékek csökkenő tendenciát mutatnak, ami nyilvánvaló összefüggésben áll a hőmérséklet ilyen irányú csökkenésével. A csökkenés mértéke azonban az eredmények alapján nem azonos a különböző hegységek esetén. A legszembetűnőbb eltérést a Mecsek esetén tapasztaltam. Összehasonlítva például a hasonló tengerszint feletti magasságokkal jellemezhető Visegrádi-hegységgel, a Mecsek bioklimatikus szempontból „alig emelkedik ki” a környezetéből, míg a Visegrádi-hegységben jóval erőteljesebb a tengerszint feletti magasság szerinti differenciálódás. Ez a környezetbe való „beolvadás” leginkább a téli időszakban figyelhető meg. Ezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a DNY-i területek mediterrán klimatikus befolyásoltsága a bioklimatikus viszonyokra is jelentős kiegyenlítő hatással van, míg a kontinentalitás erősödése emeli a tengerszint feletti magasság jelentőségét a bioklimatikus viszonyok alakításában. Ez a hatás oka lehet az előzőekben bemutatott É-D-ÉK-DNY tendenciaváltozásnak is (Gulyás and Matzarakis, 2009).

6.6. Kitekintés

A vizsgálati eredmények jól példázzák, hogy a különböző léptékű bioklimatikus elemzések sokrétű felhasználást tesznek lehetővé. Hasznos adatokat szolgáltatnak finom felbontásban, pl. egy városi park megtervezésénél, nagyobb léptékben egy új városrész kialakításánál, vagy egy meglévő felújításánál, makro szinten a területi tervezésben. Ehhez azonban az is szükséges, hogy Magyarországon az eddiginél szorosabb legyen a kapcsolat a tudományos háttér és a gyakorlati alkalmazás (pl. építészet, város- és turizmus-tervezés) között. Az építés szakma csak az utóbbi években kezd megismerkedni a humán komfort hazai és nemzetközi eredményeivel (Bánhidi et al., 2008). Munkámmal mindenképpen hozzá szeretnék járulni a kapcsolatépítéshez, megtalálni az utat arra, hogy a döntéshozói és tervezési gyakorlatban nagyobb hangsúlyt kapjanak (illetve egyáltalán „szóhoz jussanak”) az efféle szempontok.

Jelen dolgozat kevésbé érinti a humán komfort szubjektív oldalát, aminek a jelentősége az utóbbi években nemzetközi szinten felértékelődött (pl. Thorsson et al., 2004; Nikolopoulou and Lykoudis, 2006). Ezért az eddigi főleg objektív módszereken alapuló vizsgálatok kiegészítéseként az elmúlt évben tanszékünkön erre szerveztünk több éves kutatási programot, amely kimeneteként ezen tényezők bevonásával pontosítható az objektív módszerekkel kapott kép (pl. Kántor et al., 2007, 2009). Terveink szerint e módszer alkalmazásával lehetőség nyílik az alkalmazott indexek regionalizálására, amely ezáltal a hazai (közép-európai) viszonyoknak jobban megfelelő, árnyaltabb elemzést tud adni a humán komfort viszonyokról.

7. Summary

7.1. Introduction and research objectives

Human bioclimatology examines the effects of climatic circumstances on the human body. This thesis focuses on those components of these impacts which affect the thermal balance of the body, and thus influence the thermal sensation of a person. Thermal comfort (i.e. comfortable thermal sensation and the smallest amount of climatic stress) is one of the primary conditions of people's proper quality of life. It has an impact on every ordinary or leisure activity inside or outside the city. This is the reason why there has been a worldwide increase of interest and case studies in this field (in the last few years).

The rapid increase of global population in the past few decades resulted in the increase of urban population and the growth of densely populated urban areas. The intensification of urban climate phenomena, like urban heat-island, in the ever expanding cities can lead to higher bioclimatic stress and health problems for the residents in summer. It is especially true nowadays when this process is amplified by the global climatic change. One of the possible consequences is that the climatic stress on the human body also changes. It increases (e.g. in summer during heat waves) and decreases (in winter and/or during periods lacking in light). The consequences of this phenomenon must be known in order to develop strategies to reduce the negative effects. It is possible to prepare for these changes only if we know the phenomenon and its consequences, and that is also how we can work out efficient strategies to reduce the negative effects. It is necessary, for example, to optimize the urban thermal comfort circumstances, preferably in a way which does not impose unnecessary burden on the environment (e.g. the excessive and occasionally unnecessary use of air-conditioning, etc.). The climatic conditions of Hungary (a basin with strong continentality) and the predicted effects of the global climatic change in the Carpathian-basin further increase the need for such studies. It can be particularly important in a city like Szeged, where the sunshine duration and the average temperature are higher than the Hungarian average. It is very important to know how these natural conditions affect the comfort feeling of the inhabitants of Szeged.

Accordingly, the following aims were set at the beginning of my research:

- To present a short description of the history, theoretical background, and most up-to-date results of the international human bioclimatology research in Hungarian language;
- To describe a method suitable for quantifying the thermal comfort of the human body and showing its application in different spatial and temporal dimensions in Hungary;

- To quantify the thermal comfort situation of different micro-environments in Szeged;
- To examine the most crucial differences between the urban and rural areas on the example of Szeged;
- To characterize the connection between the extent of physiological climatic load and meteorological parameters in mesoscale;
- To present data for city designers in order to optimize urban human comfort;
- To create and analyze the human bioclimatic map of Hungary in macroscale.

7.2. Methods, data collection, and processing

Due to the huge differences in the spatial and temporal scale of the examined processes, there were different methods applied on different areas.

The 200x200m sample area of the **microscale** investigations is situated in the city center of Szeged. This area is densely built-up; the narrow street canyons are mainly bordered with 2-3-storey buildings. Two methods were used for microscale studies. In the first case, human bioclimatic indices (*PET* - Physiologically Equivalent Temperature and *PMV*-Predicted Mean Vote) were calculated based on the data provided by the fixed meteorological station (e.g. temperature, relative humidity, global radiation, 10-minute averages of the wind speed), which is located in the centre of the research area. Calculations were performed using the RayMan (ver 2.0) radiation and bioclimatic model. The parameters of surface geometry were changed with the help of the model, and the effects of such morphological changes on the human bioclimatic conditions were examined. In the second case, the calculated indices were based on meteorological data collected from six designated locations in the same sample area. The results were used to present the bioclimatic variability occurring in a small area.

A larger examined area and longer examination time period were chosen for a **mesoscale** study of the example of Szeged. According to the widely used practice in urban climate studies, the characteristics of two distinct locations were compared from bioclimatic aspects. The modifying effect of the city can be studied at the location situated in the built-up city center, while the effect of the city is negligible at a location on an arable land with an open horizon. Hourly average values of each meteorological parameter (collected between 01.03.2003.-30.11.2003) were used to calculate *PET* values. Based on these datasets the difference in physiological stress on urban and rural residents was described. *PET* categories were created according to the physiological stress levels. Descriptive statistical analyses (e.g. absolute and relative frequency), correlation and linear regression analysis were used to show the link between the meteorological parameters and the extent of bioclimatic load. The analy-

sis was also performed based on seasons and parts of the day to describe the development of physiological stress during a certain period of time.

The main aim of the **macroscale** examination was to create the bioclimatic map of Hungary by combining bioclimatic and geographical data. The spatial distribution of the *PET* index was calculated for each month. Due to the lack of a detailed measured meteorological dataset, the *CRU* (Climatic Research Unit) database (University of East Anglia, Norwich, UK) was used. The data collected between 1961-1990 (temperature, wind speed, relative humidity, monthly sunshine duration) were the basis for the performed calculations. The spatial resolution of the calculated *PET* values was enhanced to 1 km using multiple linear regression (independent parameters: geographical latitude, altitude and altitude above sea level). For this, data from the so-called *GLOBE* digital model were used.

For data processing, statistical analyses and graphic visualization Microsoft Excel, SPSS 11.0, Corel Draw X3 and Surfer 8.0 software were used.

7.3. Summary and discussion of results

7.3.1. Thermal comfort properties of urban micro environments

Complex surface geometry results in mosaic-like microclimatic parameters. Thus it is expected, that even the microscale human bioclimatic characteristics show a great variability. This diversity is not primarily linked to the thermal but rather to the radiation conditions. There is 30-40 % difference in the *PET* values depending on whether the direct radiation reaches the body, while the temperature, humidity and wind speed values are constant. This difference can even cause a difference of two categories in the human physiological stress. Human bioclimatic variability is higher than could be expected from the microclimatic conditions. The extremes are even higher if we compare the results of the research carried out in Szeged with the results of international research, which is probably due to the higher global radiation values. It presents itself as strong heat stress during periods of high temperature and radiation in summer (Gulyás et al., 2003, 2004).

The moderation of the physiological load on humans can be most effectively achieved by modifying the radiation situation. While there are rather limited possibilities for altering the buildings, changing the tree vegetation seems easier. Despite the fact that the trees occupy small areas in the densely built-up city centers (small parks, trees alongside roads), they have a strong effect on the human comfort. Our studies show that trees can reduce the physiological load by 5-10 % (daily average and during daytime, respectively) even with the same building arrangement. In such a small scale, this is correlated not with the total amount of vegetation-covered area but the shading effect of individual trees (Unger et al., 2005; Gulyás et al., 2006).

7.3.2. Thermal comfort, modified by the city on a mesoscale study

The maximum of the *PET* value was slightly higher (0.4 °C) but the minimum was considerably higher (6.4 °C) in the urban area, than in the surrounding rural area between March and November, 2003 (Matzarakis and Gulyás, 2006). The frequency distribution of the hourly averages of the *PET* values shows that the number of both hot and cold extreme values is higher in the rural than in the urban areas. This phenomenon is owing to the undisturbed direct radiation (sky view factor $\approx 100\%$). While the difference in the length of the *hot* and *very hot* period is about 1% (compared to the full length of the studied term), this difference is 8% between the *cold* and *very cold* categories. Thus we can conclude that the human bioclimatic modifying effect of the city is more pronounced in the physiologically more demanding cold periods, and a slight reduction in the length of the hot stress periods can also be observed. The length of the comfort heat sensation period was twice as much in the urban area compared to the rural area during the complete examined time period. The modification effect of the city is slight in spring and autumn, but it significantly increases the length of comfort period in summer. It can be concluded from the analysis of the frequency distribution of *PET* values that the city has a moderating and compensating effect on the human comfort conditions (Gulyás et al., 2009).

Analyzing the extent and distribution of physiological load in relation to the surrounding area, an evident negative shift can be detected in the city during the day and a positive shift during the night compared to the rural areas. It may not necessarily be caused by the small temperature difference during daytime, but the urban heat island can be responsible for it during the night. The difference of daily averages can be 10-12 °C (*PET*), which may mean a 2-3 physiological load category difference. The daily course of ΔPET values shows the widest intervals in summer, and the smallest in autumn.

7.3.3. Characterization of the connection between meteorological parameters and the extent of physiological load

A strong positive linear correlation can be observed between air temperature (T_a), radiation (T_{mrt} - mean radiation temperature) and the *PET* value in both areas. In the case of relative humidity and *PET* the correlation is also linear, but negative with a higher variation than in the former cases. Interestingly, there was no significant relation between wind speed and *PET*. This is in contradiction with previously published results, but those observations were made with higher (2-5 ms⁻¹) wind speed at lower T_{mrt} . In our case, the measuring point was located at the edge of a street canyon. Very low wind speed was calculated with the applied wind speed reduction to 1.1 m height (particularly in the town centre), which is the hu-

man bioclimatic standard. This remarkably low wind speed was observed in every season and was probably the reason for the unexpected results (Gulyás et al., 2009).

Linear regression analyses show that the strongest correlation between air temperature and physiological load can be measured (independently of seasons) at night. The temperature affects human comfort less dominantly during the day, this correlation, however, depends on the season and the examined area. The extent of this decrease is the highest in summer and in an urban environment (Gulyás et al., 2009).

The T_{mrt} (which describes the radiation situation) and the PET index have a strong correlation every season of the year and every time of the day. The determination coefficient decreases below 0.9 only in spring and autumn at night. This phenomenon is in fact the mesoscale manifestation of the phenomenon that also exists in microscale, indicating the crucial role of radiation in forming the thermal comfort (Gulyás et al., 2009).

The correlation between relative humidity and PET is less strong than in the case of the above mentioned two parameters. The value of the determination coefficient is smaller at night than during the day, independently of the season. This indicates that the effect of humidity on the human comfort is smaller during the night than during daytime. This is more pronounced in autumn. According to the determination coefficients the impact of the RH on human comfort is higher in the rural area than in the city. The strongest correlation can be observed in the rural areas, during daytime in autumn (Gulyás et al., 2009).

7.3.4. Macroscale bioclimatic characterization of Hungary

The thesis presents a possible way of data interpretation for linking geographical and bioclimatic data. This method was used to produce the first bioclimatic map of Hungary, based on the distribution of PET monthly average values with 1 km resolution. Generally speaking, the PET value increases with the decrease of altitude above sea level and in the N-S direction. This direction changes in winter to NE-SW. Thus the Northern Mountain Range and NE part of the Great Plains offer the highest cold stress in winter, these areas have the lowest PET values from spring to autumn. The difference between the highest and the lowest PET values is between 5-11 °C, depending on the month. The difference is smallest in winter and highest in late spring and summer (Gulyás and Matzarakis, 2007).

A homogeneous distribution of human comfort categories can be observed in winter. The area of the whole country belongs to the *extreme cold* thermal sensation category, which can be explained by the low complexity of the relief. However, this research and conclusion indicated the necessity of refining the cold comfort categories, to fit them better to climatic situations similar to those in Central Europe (Gulyás and Matzarakis, 2009).

Differences between the extreme values observed in the country area can be detected when the radiation is higher (from spring till autumn). This shows the dominant role of radiation in shaping the human comfort situation (as similarly shown in the smaller scale studies). A difference of two categories can be observed during summer months along the N-S gradient described in point 3.4.1. (Gulyás and Matzarakis, 2009).

PET values are decreasing with the increasing altitude, in good agreement with the decreasing temperature. However, this relation is not the same in the case of different mountains. For example when comparing the Mecsek Mountains to the Visegrád Mountains, which are almost at the same altitude, it is clearly visible, that the Mecsek does not differ from its surroundings in a bioclimatic aspect, unlike its counterpart. The differentiation depending on the height is more significant in the Visegrád Mountains. The “merging” of the Mecsek into the surrounding area is the most pronounced in winter. A possible explanation for this phenomenon is the bioclimatic equalizing impact of the Mediterranean climate in the SW part of the country. In the north, the increasing continental climatic effect stresses the importance of elevation above sea level in the formation of bioclimatic conditions. This effect can be the reason for the N-S, NE-SW *PET* changing direction described earlier (Gulyás and Matzarakis, 2009).

Köszönetnyilvánítás

Elsőként köszönetet szeretnék mondani témavezetőmnek, Dr. Unger János tanszékvezető egyetemi docensnek, hogy szakmai tanácsaival, kritikai észrevételeivel mindvégig segítette a munkámat.

Külön köszönet konzulensemnek, Dr. Andreas Matzarakisnak a freiburgi egyetem docensének, hogy intézményükben értékes szakmai tapasztalatokra tehettem szert.

Köszönöm a szakmai, technikai, nyelvi, és lelki segítséget kedves kollégáimnak: Dr. Kevei Ferencné Dr. Bárány Ilona professzor asszonynak, Dr. Sümeghy Zoltánnak, Gál Tamásnak, Tanács Eszternek, Kántor Noéminek, amellyel a munkám során támogattak.

Köszönöm Dr. Lakatos Lászlónak, hogy a mikrometeorológiai méréseknél a műszerüket használhattam és az Országos Meteorológiai Szolgálatnak az adatszolgáltatásban nyújtott segítő közreműködését.

Végül hálás köszönetet szeretnék mondani a családomnak (kiváltképp férjemnek Dr. Viczián Andrásnak és kisfiamnak Viczián Dánielnek), valamint barátaimnak (Dr. Kiss Tímeának, Katona Tündének és Sódar Istvánnak), hogy kitartottak mellettem és bíztak bennem.

Irodalomjegyzék

- Alderson, M.R., 1985: Season and mortality. *Health Trends* 17, 87-96.
- Ali-Toudert, F., 2005: Dependence of the outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate. *Wiss Ber Meteor Inst Univ Freiburg* 15, 224 p
- Andrade, H. and Alcoforado, M.J., 2008: Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. *Theor Appl Climatol* 92, 225-237.
- Antal, E., 1999: A meteorológia egyes kutatási területeinek fejlődése. In: Tarsoly, I. (szerk): *Magyarország a XX. Században*. Szekszárd, Babits Könyvkiadó, 369-384.
- Applegate, W.B., Runyan, J.W. Jr, Brasfield, L., Williams, M.L.M., Konigsberg, C. and Fouche, C., 1981: Analysis of the 1980 heat wave in Memphis. *Journal of the American Geriatrics Society* 29, 337-342.
- Arnfield, J., 2003: Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *Int J Climatol* 23, 1-26.
- Asawa, T., Hoyano, A. and Nakaohkubo, K., 2008: Thermal design tool for outdoor space based on heat balance simulation using a 3D-CAD system. *Build Environ* 43, 2112-2123.
- Aschoff, J., Günther, B. and Kramer, K., 1971: Energiehaushalt und Temperaturregulation, in: (eds.) Gauer, O.H., Kramer, K. and Jung, R.: *Physiologie des Menschen*, Bd. 2, Urban & Schwarzenberg Verlag, München-Berlin-Wien
- ASHRAE, 2001: Chapter 13 – Measurements and instruments. In: Asimakopoulos, D. N., Assimakopoulos, V. D., Chrisomallidou, N. and Klitsikas, N. D., (eds): *Handbook of Fundamentals. American Society for heating Refrigerating and Air Conditioning*, Atlanta, 13.26 -13.27.
- Assmann, D., 1963: *Die Wetterfühligkeit des Menschen: Ursachen und Pathogenese der biologischen Wetterwirkung*. G. Fischer, Jena, 235 p
- Auliciems, A. and Kalma, J.D., 1979: A climatic classification of human thermal stress in Australia. *J Appl Meteorol* 18, 616-626.
- Avissar, R., 1996: Potential effects of vegetation on urban thermal environment. *Atmos Environ* 30, 437-448.
- Balázs, B., Unger, J., Gál, T., Sümeghy, Z., Geiger, J. and Szegedi, S., 2009: Simulation of the mean urban heat island using 2D surface parameters: empirical modeling, verification and extension. *Meteorol Appl* 16, 275-287
- Bánhid, L., Bartal, I. és Garbai, L. 2008: A humánkomfort komplex mutatói, az emberi test statikus és dinamikus hőmérlege. *Magyar Épületgépészet* 57, 16-20.
- Bártfai, E., 1986: Az orvosepidemiológia mai helyzete Magyarországon. *Légtér* 31, 16-20.
- Bártfai, R., Bártfai, E., Rajna, P. és Csibri, É., 1994: Kísérlet az epilepsziás rohamok és a komplex időjárás-változások közti összefüggés kimutatására (elővizsgálat). *Ideggyógyászati Szemle* 47, 418-424.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy. és Szabó, P. 2008: Milyen mértékű változás várható a Kárpát-medence éghajlati szélsőségeiben a XXI. század végére? *Légtér* 53, 19-23.
- Bauer, B., Breuste, J., Matzarakis, A. and Mayer, H., 1999: Micro-meteorological measurement in small urban structures. In: *Proceed of International Conference on Urban Climatology & International Congress of Biometeorology*, Sydney, Australia, 47-52.
- Belding, H.S. and Hatch, T.F., 1955: Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain. *Heating, Piping, Air Conditioning* 27, 129-142.
- Berglund, L., 1997: Thermal and non-thermal effects of humidity on comfort. *J Human-Environm System* 1, 35-47.
- Bernatzky, A., 1982: The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energ Build* 4, 301-310.
- Béll, B. és Takács, L. (szerk) 1974: A Balaton éghajlata. *Országos Meteorológiai Szolgálat Kiadványa XL.*, Budapest, 272-306.
- Blažejczyk, K., 1994: New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales. In: Blažejczyk, K. and Krawczyk B. (eds): *Bioclimatic research of the human heat balance. Zesz. IGiPZ PAN*, 28, 27-58.
- Blažejczyk, K., 2005: New indices to assess thermal risks outdoors. In: Holmér, I., Kuklane, K. and Gao, Ch. (eds): *Environmental Ergonomics XI, Proceed of the 11th Int Conference*, Ystad, Sweden, 222-225.
- Blažejczyk, K. and Matzarakis, A., 2008: Evaluation of climate from the point of view of recreation and tourism. In: *Proceed of 18th Int Congress on Biometeorology*, Tokio, Japan, 123-128.
- Bluestein, M. and Osczevski, R., 2002: Wind chill and the development of frostbite in the face. In: *Proceed of 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology*, Kansas City, USA, 168-171.
- Bottyán, Z. and Unger, J., 2003: A multiple linear statistical model for estimating mean maximum urban heat island. *Theor Appl Climatol* 75, 233-243.
- Bruse, M., 1999: Simulating microscale climate interactions in complex terrain with a high-resolution numerical model: A case study for the Sydney CBD Area. In: *Proceed of International Conference on Urban Climatology & International Congress of Biometeorology*, Sydney, Australia, 425-430.
- Bruse, M., 2003: Stadtgrün und Stadtklima- Wie sich Grünflächen auf das Mikroklima in Städten auswirken. *LÖBF-Mitteilungen* 1, 66-70.

- Bruse, M., 2007: Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a multi-agent system. In: *Proceed of 24th International Conference of Passive and Low Energy Architecture (PLEA) 2007*, 491-498.
- Büttner, K., 1938: *Physikalische Bioklimatologie*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 154 p
- Carver, A.D., Unger, D.R. and Parks, C.L., 2004: Modeling Energy Saving from Urban Shade Trees: An Assessment of the CITYgreen® Energy Conservation Module. *Environmental Management* 34, 650-655.
- Clarke, J.F. and Bach, B., 1971: Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments. *Int J Biometeorol* 15, 41-54.
- Compagnon, R. and Goyette-Pernot, J., 2005: Visual Comfort in Urban Spaces. In: Nikolopoulou, M. (eds): *Designing Open Spaces in the Urban Environment: A Bioclimatic Approach, Report of RUROS Project*, 27-32.
- Conti, S., Meli, P., Minelli, G., Solimini, R., Toccaceli, V., Vichi, M., Beltrano, C. and Perini, L., 2005: Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy. *Environ Res* 98, 390-399.
- Davis, R.E., Knappenberger, P.C., Novicoff, W.M. and Michaels, P.J., 2002: Decadal changes in heat-related human mortality in the eastern United States. *Clim Res* 22, 175-184.
- Díaz, J., García-Herrera, R., Trigo, R.M., Linares, C., Valente, M.A., De Miguel, J.M. and Hernández, E. 2006: The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it? *Int J Biometeorol* 50, 159-166.
- Dixon, J.C. and Prior, M.J., 1987: Wind-chill indices - a review. *Meteorol Mag* 116, 1-17.
- Donaldson, G.C. and Keatinge, W.R., 1997: Early increases in ischaemic heart disease mortality dissociated from and later changes associated with respiratory mortality after cold weather in south east England. *J Epidemiol Community Health* 51, 643-648.
- Epstein, Y. and Moran, D.S., 2006: Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. *Industrial Health* 44, 388-398.
- Fanger, P.O., 1970: *Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering*. McGraw Hill Book Co., New York, 244 p
- Faust, V., 1985: *Wetterfühligkeit*. Hippokrates-Verl., Stuttgart, 113 p
- Faust, V., Weidmann, M. and Sarreither, P., 1973: Zur subjektiven Wetterfühligkeit von Kindern und Jugendlichen. *Arch Met Geoph Biokl* 21, 294-304.
- Fiala, D., Lomas, K.J. and Stohrer, M., 2001: Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *Int J Biometeorol* 45, 143-159.
- Fountain, M.E. and Huizenga, C., 1997: A Thermal Sensation Prediction Software Tool for Use by the Profession. *ASHRAE Trans.* 103, 130-136.
- Fuller, F.H. and Brouha, L., 1966: New engineering methods for evaluating the job environment. *ASHRAE Journal* 8, 39-52.
- Gaffen, D.J. and Ross, R.J., 1998: Increased summertime heat stress in the U.S. *Nature* 396, 529-530.
- Gagge, A.P., 1972: Partitional calorimetry in the desert. In: Yousef, M.K., Horvath, S.M. and Bullard, R.W. (eds): *Physiological Adaptations: Mountain and Desert*, Academic Press, New York, 23-49.
- Gagge, A. P., Stolwijk, J.A.J. and Hardy, J.D., 1967: Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various temperatures. *Environ Res* 1, 1-20.
- Gagge, A.P., Burton, A.C. and Bazett, H.D. 1971a: A practical system of units for the description of heat exchange of man with his environment. *Science* 94, 428-430.
- Gagge, A. P., Stolwijk, J.A.J. and Nishi, Y., 1971b: An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Trans* 77, 247-262.
- Gagge, A.P., Fobelets, A.P. and Berglund, P.E., 1986: A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Trans* 92, 709-731.
- Gaitania, N., Mihalakakou, G. and Santamouris, M. 2007: On the use of bioclimatic architecture principles in order thermal comfort conditions in outdoor spaces. *Build Environ* 42, 317-324.
- Gajzágó, L. és P Gubola, M., 1960: Kísérlet hőérzeti tartományok megállapítására. *Időjárás* 64, 170-174.
- Ganong, W.F., 1990: *Az orvosi élettan alapjai*. Medicina, Budapest, 804 p
- Gál, T. and Unger, J., 2009: Detection of ventilation paths using high-resolution roughness parameter mapping in a large urban area. *Build Environ* 44, 198-206.
- Giridharan, R., Lau, S.S.Y., Ganesan, S. and Givoni, B., 2008: Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence. *Build Environ* 43, 1583-1595.
- Givoni, B., 1969: *Man, climate and architecture*. John Wiley & Sons, New York, 364 p
- Givoni, B., 1976: *Man, Climate and Architecture*. Applied Science Publishers, New York, (2. edition) 483 p
- Givoni, B. 1997: *Climate considerations in building and urban design*. Van Nostrand Reinhold. New York. 303-330.
- Givoni, B. and Goldman R.F., 1973: Predicting heart rate response to work, environment and clothing. *J Appl Physiology* 34, 201-204.
- Golden, J.S., Hartz, D., Brazel, A., Lubert, G. and Phelan, P., 2008: A biometeorology study of climate and heat-related morbidity in Phoenix from 2001 to 2006. *Int J Biometeorol* 52, 471-480.
- Gosling, S.N., McGregor, G.R. and Lowe, J.A., 2009: Climate change and heat-related mortality in six cities Part 2: climate model evaluation and projected impacts from changes in the mean and variability of temperature with climate change. *Int J Biometeorol* 53, 31-51.
- Gover, M., 1938: Mortality during periods of excessive temperature. *Public Health Rep* 53, 1122-1143.

- Gómez, F., Gil, L. and Jabaloyes, J., 2004: Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relationship with the green areas, interaction with the urban microclimate. *Build Environ* 39, 1077-1086.
- Grimmond, C.S.B. and Oke, T.R., 1999: Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. *J Appl Meteorol* 34, 1262-1292.
- Grubich, V., 1961: *Az időjárás és az ember*. Medicina Könyvkiadó, Budapest, 202 p
- Gulyás, Á., 2005: Differences in human comfort conditions within a complex urban environment: A case study. *Acta Clim Chorol Univ. Szegediensis* 38-39, 71-84.
- Gulyás, Á. and Matzarakis, A., 2007: Selected examples of bioclimatic analysis applying the physiologically equivalent temperature in Hungary. *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis* 40-41, 37-46.
- Gulyás, Á. and Matzarakis, A., 2009: Seasonal and spatial distribution of PET-Physiologically Equivalent Temperature – index in Hungary. *Időjárás* 113, 221-231.
- Gulyás, Á., Unger, J. and Matzarakis, A., 2003a: Analysis of the thermophysiological significant conditions within a medium-sized city with continental climate (Szeged, Hungary). In *Proceed of the Fifth International Conference on Urban Climate (ICUC)*, Lodz, Poland P.1.4.
- Gulyás, Á., Unger, J. and Matzarakis, A., 2004: A városi környezet mikroklimatikus jellemzőinek bioklimatológiai szempontú elemzése Szeged példáján. 2. *Magyar Földrajzi Konferencia, Szeged CD-ROM*
- Gulyás, Á., Unger, J. and Matzarakis, A., 2006: Assessment of the microclimatic and thermal comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. *Build Environ* 41, 1713-1722.
- Gulyás, Á., Matzarakis, A. and Unger, J., 2008: Differences in the thermal bioclimatic conditions on the urban and rural areas in a Southern Hungarian city (Szeged). In *Proceed of the 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology, University of Freiburg, Germany*, 229-234.
- Gulyás, Á., Unger, J., Balázs, B. and Matzarakis, A., 2003b: Analysis of the bioclimatic conditions within different surface structures in a medium-sized city (Szeged, Hungary). *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis* 36-37, 37-45.
- Hastings, D. A., Dunbar, P. K., Elphinstone, G. M., Bootz, M., Murakami, H., Maruyama, H., Masaharu, H., Holland, P., Payne, J., Bryant, N. A., Logan, T., Muller, J.-P., Schreier, G., MacDonald, J. S. (eds.) 1999: The Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Version 1.0. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, 325 Broadway, Boulder, Colorado 80303, U.S.A. Digital data base on the World Wide Web. (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>)
- Havenith, G., 2005: Temperature Regulation, Heat Balance and Climatic Stress. In: Kirch, W., Menne, B. and Bertollini, R., (eds): *Extreme Weather Events And Public Health*, Springer, 69-80.
- Havenith, G., Holmér, I. and Parsons, K. C., 2002: Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. *Energ Build* 34, 581-591.
- Holicska, Sz. (szerk) 2008: *Emberpróbáló időjárás*. Athenaeum, Budapest 255 p
- Horányi, A. 2006: Regionális klímadinamikai kutatások: nemzetközi és hazai áttekintés. In: Weidinger, T. (szerk.) 31. *Meteorológiai Tudományos Napok – Az éghajlat regionális módosulásának objektív becslését megalapozó klímadinamikai kutatások*. OMSZ, 62-70.
- Houghten, F.C. and Yaglou, C.P., 1923: Determining lines of equal comfort. *ASHVE Trans* 29, 163-176.
- Höppe, P., 1984: *Die Energiebilanz des Menschen*. Dissertation. *Wissenschaftlicher Mitteilung Nr. 49. Universität München*, 171 p
- Höppe, P., 1992: Ein neues Verfahren zur Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur im Freien. *Wetter und Leben* 44, 147-151.
- Höppe, P., 1993: Heat balance modelling. *Experientia* 49, 741-746
- Höppe, P., 1997: Aspects of human biometeorology in past, present and future. *Int J Biometeorol* 40, 19-23.
- Höppe, P., 1999: The physiological equivalent temperature – an universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol* 43, 71-75.
- Höppe, P., 2000: Challenges for biometeorology on the turn of the century. In: de Dear, R. et al. (eds): *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium, Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99*, Sydney, Australia, 383-386.
- Höppe, P., 2002: Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energ Build* 34, 661-665.
- Hupfer, P. und Kuttler, W., 2006: *Witterung und Klima*. Teubner Verlag, Wiesbaden, 554 p
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, New York, 996 p
- ISO 7243, 1989: *Hot Environments- Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)*. International Standard Organization, Geneva, Switzerland
- ISO 7730, 1984: *Moderate Thermal Environment – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. International Standard Organization, Geneva, Switzerland
- Jendritzky, G., 1993: The atmospheric environment - an introduction. *Experientia* 49, 733-738.

- Jendritzky, G. and Nübler, W., 1981: A Model Analysing the Urban Thermal Environment in Physiologically Significant Terms. *Arch Met Geoph Biokl* 29, 313-326.
- Jendritzky, G., Sönning, W. and Swantes, H.J., 1979: Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung („Klima-Michel-Modell“). Akademie für Raumforschung und Landesplanung Beiträge 28, Hermann Schrödel Verlag Hannover, 85 p
- Jendritzky, G., Staiger, H., Bucher, K., Graetz, A. and Laschewski, G., 2000: The Perceived Temperature - The Method of the Deutscher Wetterdienst for the Assessment of Cold Stress and Heat Load for the Human Body. In *Proceed of Internet Workshop on Windchill*, Canada, 159-167.
- Jendritzky, G., Weihs, P., Batchvarova, E., Havenith, G. and de Dear, R., 2008: The Universal Thermal Climate Index UTCI: Goal and State of COST Action 730 and ISB Commission 6. In: *Proceed of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge*, Cumberland Lodge, Windsor, United Kingdom, 25-35.
- Justyák, J., 2002: Magyarország éghajlata. Kossuth Egyetemi Kiadó 116 p
- Kang, J., Yang, W. and Zhang, M., 2005: Sound Environment and Acoustic Comfort in Urban Spaces. In: Nikolopoulou, M. (eds): *Designing Open Spaces in the Urban Environment: A Bioclimatic Approach, Report of RUROS Project*, 32-37.
- Kántor, N., Unger, J. and Gulyás, Á., 2007: Human bioclimatological evaluation with objective and subjective approaches on the thermal conditions of a square in the centre of Szeged *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis* 40-41, 47-58.
- Kántor, N., Gulyás, Á., Égerházi, L. and Unger, J., 2009: Objective and subjective aspects of an urban square's human comfort – case study in Szeged (Hungary). *Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Nr.18*, 241-246.
- Katavoutas, G., Theoharatos, G., Flocas, H.A. and Asimakopoulou, D.N., 2009: Measuring the effects of heat wave episodes on the human body's thermal balance. *Int J Biometeorol* 53, 177-187.
- Katzschner, L., Bruse, M., Drey, Ch. and Mayer, H., 2007: Untersuchung des thermischen Komforts zur Abpufferung von Hitze mittels eines städtebaulichen Entwurfs (BMBF Verbundprojekt KLIMES). *Wiss Ber Meteor Inst Univ Freiburg* 16, 37-42.
- Kenny, N.A., Warland, J.S., Brown, R.D. and Gillespie, T.G., 2008: Estimating the radiation absorbed a human. *Int J Biometeorol* 52, 491-503.
- Khaw, K.T., 1995: Temperature and cardiovascular mortality. *Lancet* 345, 337-338.
- Klysik, K. and Fortuniak, K., 1999: Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland. *Atmos Environ* 33, 3885-3895.
- Knez, I. and Thorsson, S., 2006: Influences of culture and environmental attitude on thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. *Int J Biometeorol* 50, 258-268.
- Knez, I., Thorsson, S., Eliasson, I. and Lindberg, F., 2009: Psychological mechanisms in outdoor place and weather assessment: towards a conceptual model. *Int J Biometeorol* 53, 101-111.
- Koppány, G. and Unger, J., 1992: Mediterranean climatic character in the annual march of precipitation. *Acta Clim Univ Szegediensis* 24-25, 59-71.
- Kriszbacher I., Boncz I., Koppan M. and Bódis J., 2007a: Seasonal variations in the occurrence of acute myocardial infarction in Hungary between 2000-2004. *Int J Cardiol* 129, 251-254.
- Kriszbacher, I., Czopf, L. és Bódis, J., 2007b: Szezonális változások, valamint az időjárás hatása a szívinfarktus gyakoriságára Magyarországon 2000–2004 között. *Orvosi Hetilap* 148, 731–736.
- Kun, A., Itzész, P., Facsar, G. & Höhn, M. 2000: Sziklagyepek és lejtősztyepek a Középdunai Flóraválasztó környékén II. - Mészkö- és dolomitvegetáció a Cserhát-hegységben. *Kitaibelia* 5, 209-215.
- Kyle, W.J., 1992: Summer and winter patterns of human thermal stress of Hong Kong. In: Kyle W.J., Chang P.S., (eds): *Proceed of 2th International Conference on East Asia and western Pacific Meteorology and Climate*. Hong Kong, World Scientific, Singapore-New Jersey-London-Hong Kong, 575-583.
- Kyle, W.J., 1994: The human bioclimate of Hong Kong. In: *Proceed of „Contemporary Climatology” Conference*, Brno, Czech Republic, 345-350.
- Kyselý, J. and Křtíz, B., 2008: Decreased impacts of the 2003 heat waves on mortality in the Czech Republic: an improved response? *Int J Biometeorol* 52, 733-745.
- Landsberg, H.E., 1981: *The urban climate*. Academic Press, New York, 275 p
- Lányi, P., 1990: Vigyázat! Frontbetörés. Medicina, Budapest, 17 és 20-23.
- Lee, D.H.K. and Henschel, A., 1963: *Evaluation of Thermal Environment in Shelters*. U.S. Department of Health, Education and Welfare, PHS, TR-8
- Lee, D.O., 1979: The influence of atmospheric stability and the urban heat island on urban-rural wind speed differences. *Atmos Environ* 13, 1175-1180.
- Lehrl, A., 1998: Changes in the seasonality of mortality in Germany from 1946 to 1995: the role of temperature. *Int J Biometeorol* 42, 84-88.
- Lin, T.P. and Matzarakis, A., 2008: Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *Int J Biometeorol* 52, 281-290.
- Lowry, W.P., 1977: Empirical estimation of urban effects on climate: A problem analysis. *J Appl Meteorol* 16, 129-135.

- Makra, L., Tombácz, Sz., Bálint, B., Sümeghy, Z., Sánta, T. and Hirsch, T., 2008: Influences of meteorological parameters and biological and chemical air pollutants to the incidence of asthma and rhinitis. *Clim Res*, 37, 99-119.
- Marosi, S. és Somogyi, S., 1990: *Magyarország kistájainak katasztere I-II*. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest, 1500 p
- Masterton, J.M. and Richardson, F.A., 1979: Humindex: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. *Environment Canada, Ontario*, CLI 1-79.
- Matzarakis, A., 2008: Klimawandel und Städte – Stadtklimatischer Einfluss von Bäumen. *Osnabrücker Baumpflegetage – Aktiv für Bäume*. Osnabrück, Germany, 1-24.
- Matzarakis, A. and Mayer, H., 1996: Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO Newsletter* 18, 7-10.
- Matzarakis, A. and Gulyás, Á., 2006: A contribution to the thermal bioclimate of Hungary – mapping of the physiologically equivalent temperature. *Táj, környezet és társadalom. Ünnepi Tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére*, SZTE, Szeged, 479-488.
- Matzarakis, A., Mayer, H. and Izomon, M.G., 1999a: Application of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol*, 43, 76-84.
- Matzarakis, A., Rutz, F. and Mayer, H., 1999b: Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In: de Dear, R.J., Kalma, J.D., Oke, T.R. and Auliciems, A. (eds.): *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium, Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99*, Sydney, Australia, 273-278.
- Matzarakis, A., Rutz, F. and Mayer, H., 2007: Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. *Int J Biometeorol* 51, 323-334.
- Mayer, H., 1993: Urban bioclimatology. *Experientia* 49, 957-963.
- Mayer, H., 1996: Human-biometeorologische Probleme des Stadtklimas. *Geowissenschaften* 14, 233-239.
- Mayer, H. and Höppe, P., 1987: Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor Appl Clim* 38, 43-49.
- Mayer, H. and Matzarakis, A., 1997: The urban heat island seen from the angle of human-biometeorology. In: *Proceed of Int Symposium on Monitoring and Management of Urban Heat Island, Fujisawa, Japan*, 84-95.
- Mayer, H. and Matzarakis, A. 1998: Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. In: *Proceed 2nd Japanese-German Meeting "Klimaanalyse für die Stadtplanung"*. Research Centre for Urban Safety and Security, Kobe University. *Special rep 1*, 155-168.
- Mayer, H., Matzarakis, A. and Izomon, M.G., 2003: Spatio-temporal variability of moisture conditions within the Urban Canopy Layer. *Theor Appl Climatol* 76, 165-179.
- Mayer, H., Holst, J., Dostal, P., Imbery, F. and Schindler, D., 2008: Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. *Meteorologische Zeitschrift* 17, 241-250.
- Márk, Zs., 1996: Légszennyezés és obstruktív légúti megbetegedések. *Háziorvos Továbbképző Szemle*, 191-192.
- Mc Ardle, B., Dunham, W., Holling, H.E., Ladell, W.S.S., Scott, J.W., Thomson, M.L. and Weiner, J.S., 1947: *The prediction of the physiological effect of warm and hot environments. The P4SR Index*. Medical Research Council, London, 391 p
- Mc Gregor, G.R., Markou, M.T., Bartzokas, A. and Katsoulis, B.D., 2002: An evaluation of the nature and timing of summer thermal discomfort in Athen, Greece. *Clim Res* 20, 83-94.
- Mészáros, Gy., 1990: Frontérzékenység, mint a szülsmegindulás idejét befolyásoló tényező. *Orvosi Hetilap* 131, 1973-1978.
- Monteiro, L.M. and Alucci, M.P., 2006a: Calibration of outdoor thermal comfort models. In: *Proceed of the 23th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Geneve, Switzerland
- Monteiro, L.M. and Alucci, M.P., 2006b: Outdoor thermal comfort: comparison of results of empirical field research and predictive models simulation. In: *Proceed of Network for Comfort and Energy Use of Buildings*, Windsor, United Kingdom
- Monteiro, L.M. and Alucci, M.P., 2008: Outdoor thermal comfort modelling in Sao Paulo, Brazil. In: *Proceed of 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA)*, Dublin, Ireland, 365-369.
- Moran, D.S., Shitzer, A. and Pandolf, K.B., 1998: A physiological strain index to evaluate heat stress. *Am J Physiol* 275, 129-134.
- Nakai, S., Ioh, T. and Morimoto, T., 1999. Deaths from heat-stroke in Japan: 1968-1994. *Int J Biometeorol* 43, 124-127.
- Nakamura, Y. and Oke, T.R., 1988: Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmos Environ* 22, 2691-2700.
- Németh, Á., Schlanger, V. and Katona, Á., 2007: Variations of thermal bioclimate in the Lake Balaton Tourism Region (Hungary) In: *Matzarakis, A. de Freitas, C. R. and Scott, D. (eds): Developments in Tourism Climatology*, 37-42.
- Németh, Á., Matzarakis, A., Schlanger, V. and Katona, Á., 2008: Variations of thermal bioclimate and its influence to the tourism in the Lake Balaton Tourism Region (Hungary) In: *Proceed of the 18th International Congress on Biometeorology*, Tokio, Japan, 1-4.
- New, M., Hulme, M. and Jones, P., 1999: Representing twentieth century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *J Climate* 12, 829-856.

- New, M., Hulme, M. and Jones, P., 2000: Representing twentieth century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *J Climate* 13, 2217-2238.
- New, M., Lister, D., Hulme, M., Makin, I., 2002: A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Clim Res* 21, 1-25.
- Nikolopoulou, M. and Lykoudis, S., 2006: Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Build Environ* 41, 1455-1470.
- Nikolopoulou, M. and Steemers, K., 2003: Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energ Build* 35, 95-101.
- Nunez, M. and Oke, T.R., 1977: The energy balance of an urban canyon. *J Appl Meteorol* 16, 11-19.
- Oke, T.R., 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Q J R Meteorol Soc* 108, 1-24.
- Oke, T.R., 1987: *Boundary layer climates*. Routledge, London New York, 435 p
- Oke, T.R., 1997: Urban climates and global environmental change. In Thompson, R.D. and Perry, A. (eds): *Applied climatology*. Routledge, London-New York, 273-287.
- Oke, T.R., 2006: Towards better scientific communication in urban climate. *Theor Appl Climatol* 84, 179-190.
- Országos Meteorológiai Szolgálat, 2003: Magyarország éghajlati atlasza 107 p
- Országos Meteorológiai Szolgálat, 2008: Éghajlati adatsorok 1901-2000, Szeged CD Rom
- Park, H.S., 1987: *Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments*. Environ Res Center Papers 11, Univ Tsukuba, Ibaraki, 79 p
- Parsons, K.C., 1993: *Human thermal environment*. Taylor&Francis Ltd., London, 359 p
- Pascal, M., Laaidi, K., Ledrans, M., Baffert, E., Caesario-Schönemann, C., Le Tertre, A., Manach, J., Medina, S., Rudant, J. and Empereur-Bissonnet, P., 2006: France's heat watch warning system. *Int J Biometeorol* 50, 144-153.
- Páldy, A., Bobvos, J., Vámos, A. és Kishonti, K., 2005: Többlethalálozás a nyári hőhullámok idején Budapesten 2001-2003 során. *Egészségtudomány XLIX*, 25-34.
- Pálóczi, Gy. és Zimmermann, I., 1988: Biometeorológia I. rész: Humán biometeorológia. *Léggör* 33, 25-26.
- Pécsi, M., and Sárfa, B., 1964: *The geography of Hungary*. Budapest, Corvina Press. 8°. XII., 299 p
- Péczely, Gy., 1979: *Éghajlat*. Tankönyvkiadó, Budapest, 336 p
- Péczely, Gy., 1984: *A Föld éghajlata*. Tankönyvkiadó, Budapest, 598 p
- Pickup, J. and de Dear, R.J., 1999: An Outdoor Thermal Comfort Index (Out-Set*) - Part I - the Model and its Assumptions. In: de Dear, R.J. and Potter, J.C., (eds): *Proceed of the 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*. Sydney, Australia, CD ICB9.4
- Popovics, M. és Gajzágó, L., 1965: A szubjektív hőérzeti megfigyelések eredményei Magyarországon. *Léggör* 5, 45-49.
- Probáld, F., 1974: *Budapest városklímája*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 126 p
- Probáld, F., 1981: A városi levegőkörnyezet humánkomfortjának tervezése. In: Szepesi, D. (szerk): *A levegőkörnyezet tervezése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 155-197.
- Sch. Kriston, I. és Schlanger, V. 2003: 2003 nyarának időjárása. *Léggör* 48, 39-40.
- Scott, D., de Freitas, C.R. and Matzarakis, A., 2009: Adaptation in the tourism and recreation sector. In: McGregor, G.R., Burton, I. and Ebi K. (eds): *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change*. Springer, 171-194.
- Shukor, S.A.A., Kohlhof, K. and Jamal, Z.A.Z., 2007: Development of PMV-based thermal comfort modelling. In: *Proceed of the 18th IASTED International Conference on Modelling and Simulation*. Montreal, Canada, 670-675.
- Siple, P.A. and Passel, C.F., 1945: Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Wilderness and Environmental Medicine* 10, 176-182.
- Smoyer-Tomic, K.E. and Rainham, D.G.C., 2001: Beating the Heat: Development and Evaluation of a Canadian Hot Weather Health-Response Plan. *Environmental Health Perspectives* 109, 1241-1247.
- Sódar, I. és Unger, J., 1998: Városi humánkomfort esettanulmány Szegeden. *Léggör* 43, 16-22.
- Spagnolo, J. and de Dear, 2003: A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Build Environ* 38, 721-738.
- Staiger, H., 1982: Herzinfarktereignis und Wetter. *Arch Met Geoph Biokl* 31, 313-321.
- Staiger, H., Bucher, K. and Jendritzky, G., 1997: Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien in der Maßzahl Grad Celsius. *Annalen der Meteorologie* 33, 100-107.
- Steadman, R.G., 1971: Indices of Windchill of Clothed Persons. *J Appl Meteorol* 10, 674-683.
- Steadman, R.G., 1979: The assessment of sultriness. Part I. A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *J Appl Meteorol* 18, 861-873.
- Steadman, R.G., 1984: A universal scale of apparent temperature. *J Appl Meteorol*, 23, 1674-1687.
- Stewart, I.D., 2007: Landscape representation and the urban-rural dichotomy in empirical urban heat island literature, 1950-2006. *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis* 40-41, 111-121.
- Stolwijk, J.A.J. and Hardy, J.D., 1977: Comfort of body temperature. In: *Handbook of Physiology, section 9: Reaction to environmental agents*. Bethesda, Maryland, American Physiological Society, 45-68.
- Sümegehy, Z. and Unger, J., 2003a: Classification of the urban heat island patterns. *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis* 36-37, 93-100.

- Sümeghy, Z. and Unger, J., 2003b: Seasonal case studies on the urban temperature cross-section. *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis* 36-37, 101-109.
- Sümeghy, Z. és Unger, J., 2003: A települések hőmérséklet-módosító hatása – a szegedi hősziget-kutatások tükrében. *Földrajzi Közlemények* 127, 23-44.
- Sümeghy, Z., Berta, A., Gulyás, Á. és Kiss, A., 2006a: A relatív légnedvesség városi keresztmetszet menti éjszakai eloszlásának vizsgálata esettanulmányok segítségével, Szegeden. In: Kiss, A., Mezősi, G. és Sümeghy, Z., (szerk): *Táj, környezet és társadalom. Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére*, SZTE, Szeged, 619-631.
- Sümeghy, Z., Unger, J., Balázs, B. and Zboray, Z., 2003: Seasonal patterns of the urban heat island. In: *Proceed of the 5th Int. Conf. on Urban Climate (ICUC)* (eds): Klysik, K., Oke, T.R., Fortuniak, K., Grimmond, C.S.B. and Wibig, J. *International Association for Urban Climate (ICUC)*. Lodz, Poland, 1, 135-138.
- Sümeghy, Z., Unger, J., Balázs, B. and Gál, T., 2006b: Air humidity distribution along a representative urban cross-section in Szeged, Hungary. *Preprints 6th Int Conf on Urban Climate*, Göteborg, Sweden, 863-866.
- Szász, G. és Tőkei, L., 1997: *Meteorológia mezőgazdáknak, kertészeknek, erdészeknek*. Mezőgazda, Budapest, 722 p
- Szepesi, D. (szerk), 1981: *A levegőkörnyezet (levegőminőség és humánkomfort) tervezése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 155-196.
- Teller, J. and Azar, S., 2001: TOWNSCOPE II - A computer system to support solar access decision making. *Solar Energy* 70, 187-200.
- Thom, E.C., 1959: The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-60.
- Thorsson, S., Lindqvist, M. and Lindqvist, S., 2004: Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *Int J Biometeorol* 48, 149-156.
- Thorsson, S., Lindberg, F. and Holmer, B., 2007: Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *Int J Climatol* 27, 1983-1993.
- Tombácz, Sz., Makra, L., Bálint, B., Motika, G. and Hirsch T., 2007: The relation of meteorological elements and biological and chemical air pollutants to respiratory diseases. *Acta Clim Chorol Univ Szegediensis* 40-41, 135-146.
- UNFPA, 2007: Annual Report United Nations Population Fund www.unfpa.org
- Unger, J., 1992: Diurnal and annual variation of the urban temperature surplus in Szeged, Hungary. *Időjárás* 96, 235-244.
- Unger, J., 1995: Szeged városklímájának bioklimatológiai értékelése. *Léghő* 40, 29-33.
- Unger, J., 1996: Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary. *Theor Appl Climatol* 54, 147-151.
- Unger, J., 1997a: Városklimatológia – Szeged városklímája. *Acta Clim Univ Szegediensis* 31/B, p 69
- Unger, J., 1997b: *Lokális és mikroklimák*. JATEPress, Szeged p157
- Unger, J., 1998: Urban influence on human comfort (on the example of Szeged). *Acta Univ Lodziensis, Folia Geographica Physica* 3, 539-546.
- Unger, J., 1999a: Urban-rural air humidity differences in Szeged, Hungary. *Int J Climatol* 19, 1509-1515.
- Unger, J., 1999b: Comparison of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *Int J Biometeorol*, 43, 139-144.
- Unger, J., 2004: Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. *Clim Res* 27, 253-264.
- Unger, J., 2006: Modelling of the annual mean maximum urban heat island with the application of 2 and 3D surface parameters. *Clim Res* 30, 215-226.
- Unger, J. and Ondok, J., 1995: Some features of urban influence on temperature extremities. *Acta Clim Univ Szegediensis* 28-29, 63-76.
- Unger, J. és Gulyás, Á., 2000: A városi vízmérleg jellemzői. *Léghő* 45, 19-23.
- Unger, J. és Sümeghy, Z., 2002: *Környezeti klimatológia. Kísérleti éghajlatok, városklíma*. SZTE TTK, JATEPress, Szeged, 202 p
- Unger, J. és Kántor, N., 2007: Objektív és szubjektív módszeren alapuló humán komfort kiértékelés egy belvárosi téren. In: Tóth, T és Bíróné Kircsi, A (szerk): *Kedvező széllel Kunhegyestől Debrecenig. Tiszteletkötet Dr. Tar Károly 60. születésnapjára*. Debreceni Egyetem, Meteorológiai Tanszék, Debrecen, 325-336.
- Unger J., Gulyás Á. and Matzarakis, A. 2005: Eltérő belvárosi mikrokörnyezetek hatása a humán bioklimatikus komfortérzetre. *Léghő* 50, 9-14.
- Unger, J., Sümeghy, Z. and Zoboki, J., 2001a: Temperature cross-section features in an urban area. *Atmos Res* 58, 117-127.
- Unger, J., Bottyán, Z., Sümeghy, Z. and Gulyás, Á., 2004: Connection between urban heat island and surface parameters: measurements and modeling. *Időjárás* 108, 173-194.
- Unger, J., Sümeghy, Z., Gulyás, Á., Bottyán, Z. and Mucsi, L., 2001b: Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. *Meteorol Appl* 8, 189-194.
- Vaneckova, P., Hart, M.A., Beggs, P.J. and de Dear, R.J., 2008: Synoptic analysis of heat-related mortality in Sydney, Australia, 1993-2001. *Int J Biometeorol* 52, 439-451.
- VDI 3787, 1998: Methods for the human-biometeorological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning. – *Part I: Climate*. VDI guideline 3787. Beuth, Berlin, 29 p

- Watson, L.A., 1987: Heat Stress in Military Aviation. In: *Proceed of Australian Aviation Symposium: Innovate or Enervate*, 219-224.
- Weidinger, T., Bartholy, J. és Matyasovszky, T., 2000: A globális éghajlatváltozás lokális hatásainak vizsgálata hazánkban. *Földrajzi Közlemények CXXXIV*, 75-92.
- WMO, 1992: Climatic impacts and applications. No. 726, Chapter 6, 72-80.
- WMO, 1996: *Climatological Normals (CLINO) for the Period 1961–1990*. WMO/OMM-No. 847
- Yaglou, C. P. and Minard, D., 1957: Control of heat casualties at military training centers. *AMA Arch Ind Health*, 16, 302-316.
- Yang, W. and Kang, J. 2005: Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. *Appl Acoust* 66, 211-229.
- Yoshino, M.M., 1975: *Climate in a small area, an introduction to local climate*. University of Tokyo Press. 549 p

1. sz. melléklet

Különböző ruhadarabok hőszigetelő képessége az ASHRAE standardnak megfelelően
(ASHRAE, 2001 nyomán)

Ruházat		Szigetelés	
		<i>clo</i>	<i>Km²W⁻¹</i>
alsóruházat -alsótest	zokni	0,01	0,002
	vastag bokazokni	0,02	0,003
	vastag hosszú zokni	0,05	0,008
	harisnyanadrág	0,02	0,003
	női alsó	0,03	0,005
	alsónadrág	0,04	0,006
	gyapjú középhosszú alsó	0,06	0,009
	hosszú szárú alsónadrág	0,1	0,016
alsóruházat -felsőtest	melltartó	0,01	0,002
	ujjatlan trikó	0,06	0,009
	rövid ujjú trikó (póló)	0,09	0,014
	hosszú ujjú trikó	0,12	0,019
ing, blúz	pántos top	0,06	0,009
	rövid ujjú póló, top	0,09	0,014
	könnyű, hosszú ujjú blúz	0,15	0,023
	könnyű, hosszú ujjú ing	0,2	0,031
	normál hosszú ujjú ing	0,25	0,039
	flanel hosszú ujjú ing	0,3	0,047
	hosszú ujjú, magas nyakú blúz (garbó)	0,34	0,053
nadrág	rövidnadrág	0,06	0,009
	tértnadrág	0,11	0,017
	könnyű nadrág	0,2	0,031
	normál nadrág	0,25	0,039
	flanel nadrág	0,28	0,043
	kertész nadrág	0,28	0,043
pulóver	ujjatlan mellény	0,12	0,019
	vékony pulóver	0,2	0,031
	vékony pulóver garbónyakkal	0,26	0,04
	vastag pulóver	0,35	0,054
	vastag pulóver garbónyakkal	0,37	0,057
zakó, dzseki, kabát	öltöny mellény	0,13	0,02
	könnyű nyári zakó vagy dzseki	0,25	0,039
	zakó vagy dzseki	0,35	0,054
	pehelydzseki	0,55	0,085
	kabát	0,6	0,093
	parka (kapucnis hosszú kabát)	0,7	0,109
szoknya, ruha	könnyű mini szoknya	0,1	0,016
	könnyű midi szoknya	0,18	0,028
	vastagabb midi szoknya	0,25	0,039
	könnyű, ujjatlan ruha	0,25	0,039
	téli, hosszú ujjú ruha	0,4	0,062
alvó ruházat	pántos rövid hálóing	0,15	0,023
	rövidujjú rövid hálóing, pizsama	0,2	0,031
	hosszúujjú hosszú hálóing	0,3	0,047
	hosszúujjú, hosszú pizsama	0,5	0,078
cipő	vékonytalpú cipő	0,02	0,003
	gyapjúmamusz	0,03	0,005
	vastag talpú cipő	0,04	0,006
	bakancs	0,05	0,008

2. sz. melléklet

(A) A NewWind Chill Temperature index (NWCT) tájékoztató táblázata (Bluestein and Osczevski, 2002 nyomán)

		Hőmérséklet (°C)												
		10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
Szélsebesség (ms ⁻¹)	10	8,6	2,7	-3,3	-9,3	-15,3	-21,1	-27,2	-33,2	-39,2	-45,1	-51,1	-57,1	-63,0
	15	7,9	1,7	-4,4	-10,6	-16,7	-22,9	-29,1	-35,2	-41,4	-47,6	-53,7	-59,9	-66,1
	20	7,4	1,1	-5,2	-11,6	-17,9	-24,2	-30,5	-36,8	-43,1	-49,4	-55,7	-62,0	-68,3
	25	6,9	0,5	-5,9	-12,3	-18,8	-25,2	-31,6	-38,0	-44,5	-50,9	-57,3	-63,7	-70,2
	30	6,6	0,1	-6,5	-13,0	-19,5	-26,0	-32,6	-39,1	-45,6	-52,1	-58,7	-65,2	-71,7
	35	6,3	-0,4	-7,0	-13,6	-20,2	-26,8	-33,4	-40,0	-46,6	-53,2	-59,8	-66,4	-73,1
	40	6,0	-0,7	-7,4	-14,1	-20,8	-27,4	-34,1	-40,8	-47,5	-54,2	-60,9	-67,6	-74,2
	45	5,7	-1,0	-7,8	-14,5	-21,3	-28,0	-34,8	-41,5	-48,3	-55,1	-61,8	-68,6	-75,3
	50	5,5	-1,3	-8,1	-15,0	-21,8	-28,6	-35,4	-42,2	-49,0	-55,8	-62,7	-69,5	-76,3
	55	5,3	-1,6	-8,5	-15,3	-22,2	-29,1	-36,0	-42,8	-49,7	-56,6	-63,4	-70,3	-77,2
	60	5,1	-1,8	-8,8	-15,7	-22,6	-29,5	-36,5	-43,4	-50,3	-57,2	-64,2	-71,1	-78,0

NWCT (°C)	Komfort fokozat
-10 fölött	Megfelelő ruházat mellett nincs jelentős diszkomfort
(-10) – (-25)	Kis mértékű diszkomfort: A szabad bőrfelületek fagysérülésének lehetséges ideje 30 perc
(-25) – (-45)	Erős diszkomfort: A szabad bőrfelületek fagysérülésének lehetséges ideje 10 perc
(-45) – (-60)*	Nagyon erős diszkomfort: A szabad bőrfelületek fagysérülésének lehetséges ideje 5 perc
-60 alatt*	Extrém diszkomfort: A szabad bőrfelületek fagysérülésének lehetséges ideje kevesebb mint 2 perc , ne tartózkodjon a szabadban

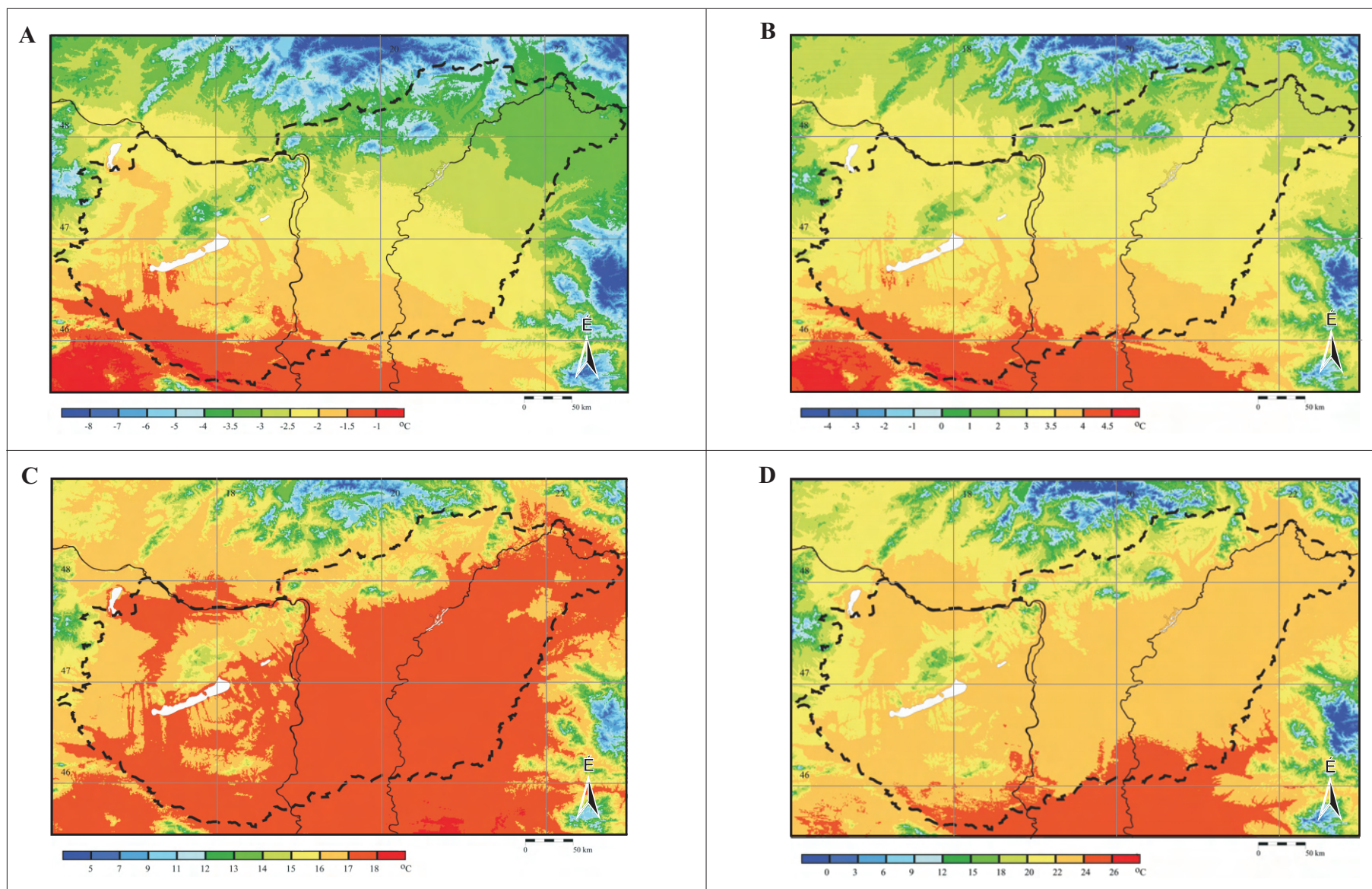
*hidegriadó (A hidegriadó kiadásának országonként (azon belül államonként is) változik az értéke, pl. Ontarióban/USA -35°C (NWCT), Quebecben/Kanada -50 °C (NWCT))

(B) A Humidex index (H) tájékoztató táblázata (Bluestein and Osczevski, 2002 nyomán)

		Hőmérséklet (°C)															
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Légnedvesség (%)	30	28	28	30	31	33	34	36	37	38	40	42	43	45	47	48	50
	35	28	29	31	33	34	36	37	39	41	42	43	46	47	49	50	52
	40	29	31	32	34	35	37	38	41	42	43	45	47	49	51	52	54
	45	30	32	33	35	36	38	40	42	43	45	47	49	51	52	54	56
	50	31	33	34	36	38	39	42	43	45	47	49	51	53	54	56	
	55	32	34	36	37	39	41	43	45	47	48	50	52	54	57		
	60	33	35	37	38	40	42	44	47	48	50	51	54	56			
	65	34	36	38	40	41	43	46	48	49	51	53	56				
	70	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57				
	75	36	38	41	42	44	46	48	51	52	54	57					
	80	37	39	42	43	45	47	50	52	54	56	58					
	85	38	41	43	44	46	49	51	53	56	57						
	90	39	41	44	46	48	50	52	55	57	58						
	95	40	42	45	47	49	51	54	57	58							
	100	41	43	46	48	50	52	55	58								

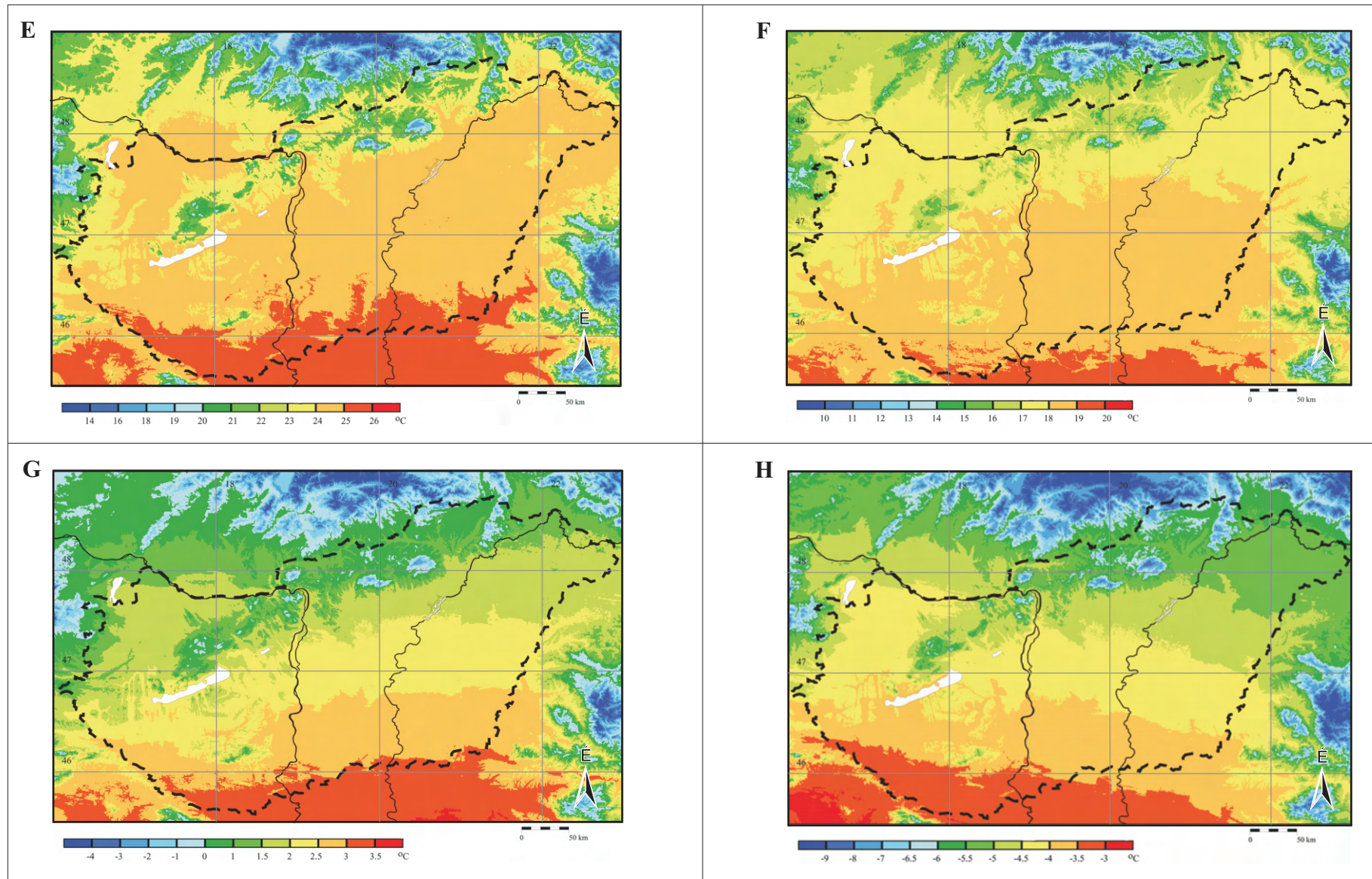
Humidex	Komfort fokozat
20-29	Komfortos
30-39	Kis mértékű diszkomfort
40-45	Nagy mértékű diszkomfort, a megerőltető tevékenység kerülendő
46 fölött	Hőségriadó, a hőségvesztés veszélye nagy

3. sz. melléklet



A PET index februári (A), márciusi (B), májusi (C) és júniusi (D) átlagértékének területi eloszlása Magyarországon 1961-1990 között (°C)

3. sz. melléklet



A PET index augusztusi (E), szeptemberi (F), novemberi (G) és decemberi (H) átlagértékének területi eloszlása Magyarországon 1961-1990 között (°C)